UNIV. OF ARIZONA
448.6 H54 mn
Herdler, Alexander/A scientific French r
3 9001 03972 4714

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/scientificfrench0000alex

A SCIENTIFIC

FRENCH READER

EDITED WITH INTRODUCTION, NOTES AND VOCABULARY

BY

ALEXANDER W. HERDLER

INSTRUCTOR IN MODERN LANGUAGES, PRINCETON UNIVERSITY

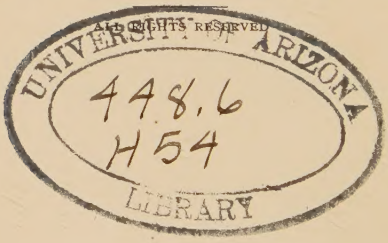
BOSTON, U.S.A.

GINN & COMPANY, PUBLISHERS

1901

Copyright, 1894
By ALEXANDER W. HERDLER

All rights reserved



PREFACE.

THERE is scarcely a science wherein the French do not occupy a leading position. To introduce the American student of science to that rich technical literature of which France is so justifiably proud is the design of this Reader. Having but this purpose in view, I do not, of course, claim to supply in my selections the wants of all scientific schools. But since it is undoubtedly needful for our students to acquire some general familiarity with French technical terms and style, the selections I have made bear chiefly on subjects representative of those branches with which the student as well as the teacher is best acquainted.

Electricity has received the largest share of attention in the following pages; its ever-widening future and its daily increasing sphere of usefulness to mankind seeming to warrant the prominence given it. Next come mechanics, physics, chemistry and their various industrial applications. The source from which most of the passages have been drawn is the *Revue Encyclopédique*, a periodical whose lucid style has done much to popularize recent scientific discoveries and inventions. It is my hope that the cuts inserted will aid the student to grasp more easily the theoretical portions of the text, and at the same time increase his interest in what may appear the more practical selections.

While explaining the comparatively few idiomatic constructions met with in the text, from the nature of the case the notes contain references chiefly scientific or biographical in character.

52663

The lack of a good and comprehensive French-English technological dictionary is a fact which will be regretted by all who take up this new branch of French literature. Karmarsch-Röhrig's, which is considered the best published, is not only sadly deficient in many particulars, but in some even absolutely wrong. Great care has therefore been bestowed on the vocabulary prepared for this Reader. In it will be found all French scientific terms save those contained in dictionaries ordinarily used in the class-room; I trust that it will prove equal to the necessities of the case. The definitions used are borrowed from the Century Dictionary.

To the beginner a few words on the construction of French scientific terms may be useful. French scientific terms, though often resembling their English equivalents, more frequently differ from them. The prepositions *à*, *de*, *en* play a great part in the formation of composite terms. The French language lacks the faculty of joining two or more words without the aid of a preposition, as is done in English and German, to designate machines, chemical names, and so forth. Words following the prepositions *à*, *de*, *en* are often, if not always, placed before the radical English word; as, for instance, *machine à vapeur*, "steam engine." If two words are joined by a hyphen, as in the expression *monte-escalier*, *allume-cigare*, the first word is usually a verb expressive of the action to which the radical is subjected. There are nouns and adjectives, moreover, which are identical; as, *moteur*, which, when used as a noun, means "motor," but which, if used adjectively, in expressions like *organe moteur*, means "driving, motive." Adjectives which occur only with a particular noun are given in connection with the same; as, *chaleur différée*. It is my pleasant duty to express my deep sense of gratitude to Professor Alphonse N. van Daell, of the Massachusetts

Institute of Technology, not only for favoring me with the two articles (Qu'est-ce que l'Électricité? and L'Électricité Industrielle), but also for giving me many valuable suggestions. I must also express my thanks to Professors Cyrus F. Brackett and Henry B. Cornwall, and Mr. Frederic C. Torrey, of Princeton, for their kind assistance in the difficult matter of technical terms. It will give me great pleasure to receive suggestions or corrections from my esteemed colleagues; and for any such communications I thank them in advance.

A. W. H.

PRINCETON, October, 1894.

CONTENTS.

		Page
I.	Aviation	1
II.	Choc Brusque suivant la Verticale	4
III.	Force Centrifuge	5
IV.	Fronde	6
V.	Emploi de l'Eau pour démontrer l'existence de la Force Centrifuge	6
VI.	La Force Centrifuge rend compte de l'Expérience suivante	7
VII.	Chemin de Fer Aérien a Force Centrifuge	7
VIII.	Toupie	8
IX.	Toupie Gyroscopique	10
X.	Vélocipède ou Bicycle	11
XI.	Pesanteur	14
XII.	Expérience de Bénédict Prévost	15
XIII.	Influence de la Surface	15
XIV.	Marteau d'Eau	16
XV.	Équilibre	16
XVI.	Cylindre Remontant un Plan Incliné	18
XVII.	Pont de Fourchettes	25
XVIII.	Culbuteur Chinois	26
XIX.	Pourquoi l'Homme peut-il souffler le Chaud et le Froid	27
XX.	Lampe de Davy	28
XXI.	Cloches d'Église en Acier Fondu	29
XXII.	Le Travail Propre du Vent	29
XXIII.	Les Nuages Artificiels	31

		Page
XXIV.	Stérilisation de L'Eau par la Chaleur	32
XXV.	La Carburation du Fer	34
XXVI.	Chaufferettes a la Chaux	36
XXVII.	Cursomètre Électrique	38
XXVIII.	Un Yacht en Aluminium	40
XXIX.	Le Pavage en Bois	41
XXX.	Bouée Sonore Automatique	44
XXXI.	Hautes Températures	46
XXXII.	Le Bassin de Patinage "Le Pôle Nord" a Paris	47
XXXIII.	Corps Simples et Corps Composés	49
XXXIV.	Liste des Corps Simples par Ordre Alphabétique	52
XXXV.	Machines a Vapeur	57
XXXVI.	Applications Industrielles de l'Électricité	66
XXXVII.	Qu'est-ce que l'Électricité?	78
XXXVIII.	Les Nouveaux Hygromètres	86
XXXIX.	Le Diamant Artificiel	91
XL.	Application de la Force du Vent a l'Éclairage Électrique	96
XLI.	Les Nouvelles Recherches sur les Phénomènes Électro-Capillaires	99
XLII.	Les Constructions Urbaines aux États-Unis	105
XLIII.	L'Électricité Industrielle	113
XLIV.	L'Électricité dans la Maison	124
XLV.	Le Pont Washington a New York	143
XLVI.	Nouvelle Voiture mue par un Moteur a Pétrole	148
XLVII.	Le Viaduc de la Cerveyrette	152
XLVIII.	Le Bois Fondu	154

Notes 157

Vocabulary 165

A SCIENTIFIC FRENCH READER.

I. AVIATION.

CONTRAIREMENT aux affirmations d'Helmholtz[1] qui, dans son ouvrage *Gesammelte Abhandlungen*,[2] dit qu'il est tout à fait impossible à l'homme de voler par ses propres forces, un Allemand, O. Lilienthal, vient, à Steglitz, près de Berlin, de

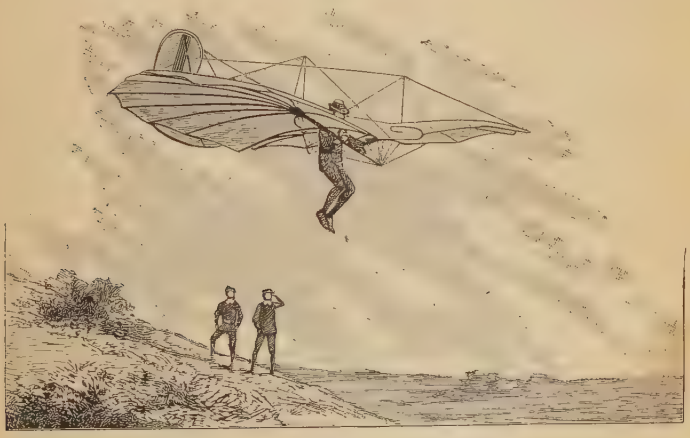


FIG. 1.

tenter des essais d'aviation qui ont été couronnés d'un réel succès. Lilienthal s'est basé sur ce fait que les oiseaux de la plus grande taille lorsqu'ils planent ne paraissent développer qu'un minimum de travail tout en progressant rapidement dans les airs et que le vent accomplit pour eux presque tout

le travail. Ses premiers essais ont tous tendu à démontrer qu'avec des appareils bien construits, solides mais légers, il était permis à l'homme, sans dépasser ses forces, de se soutenir dans les airs et aussi de suivre une direction voulue

FIG. 2.

en inclinant dans un sens ou dans l'autre les ailes, par un simple déplacement du centre de gravité par rapport au centre de résistance. Lilienthal se plaçait pour ses expériences sur un point un peu élevé, prenait un élan de 4 ou 5 mètres pendant lequel le vent gonflait ses ailes, et il se laissait ensuite glisser dans l'air sur une distance dépassant 250 mètres.[3] En levant un bras et portant les jambes à droite ou à gauche, il changeait de direction et pouvait même ralentir son vol. Au lieu de donner à ses ailes la forme de celles des oiseaux, il leur a donné un profil curviligne déterminé par l'expérience. Leur structure est telle que chacune d'elles présente une surface de *15 mètres carrés*. Divers essais lui ont démontré qu'il n'était pas prudent de

leur donner une étendue ni inférieure ni supérieure à celle qu'il avait choisie. Lilienthal affirme que si les ailes n'atteignent pas un poids trop considérable et une surface trop grande, les essais auxquels il s'est livré n'offrent aucune espèce de danger et qu'en tout cas c'est un exercice fort agréable et très récréatif.

Quelle que doive être la portée de l'expérience si intéressante de M. Lilienthal, il est permis de penser que, si le domaine de l'air n'est pas encore conquis par lui, l'homme peut aspirer à le conquérir. Il est assez piquant de prévoir tout ce que lui rapporterait sa nouvelle conquête ; la science la mettrait largement à profit et le sport, qui a déjà trouvé récemment une voie féconde dans la vélocipédie, ne man-

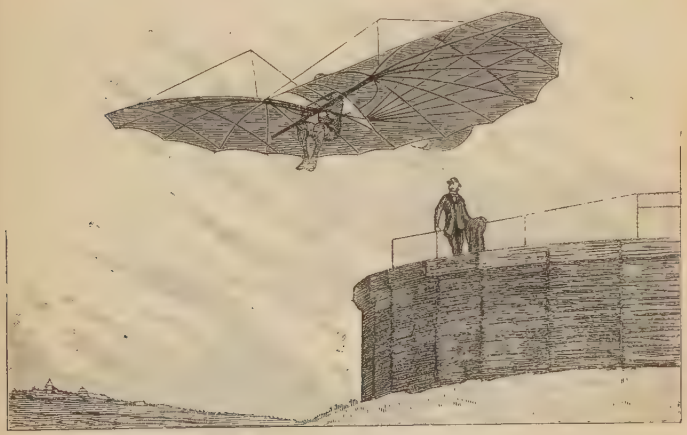


Fig. 3.

querait pas de trouver dans les airs un champ plus fertile encore, que l'industrie ne manquerait pas d'exploiter à son tour. Il en résulterait une évolution marquante dans les progrès de la civilisation moderne.

II. CHOC BRUSQUE SUIVANT LA VERTICALE.

Un choc très brusque dirigé suivant la verticale produit aussi de curieux effets. Une verge de sapin (Fig. 4), un manche à balai, par exemple, est appuyé par ses deux extrémités sur deux verres à boire par l'intermédiaire de[1] deux aiguilles enfoncées dans le bois, suivant la direction

Fig. 4. — Rupture d'un bâton reposant sur deux verres.

de l'axe. Ces deux verres sont placés sur deux billots de bois ou sur deux chaises. Si alors on donne un fort coup de sabre, ou un violent coup de bâton sur le milieu de la verge, on la brisera, sans casser ni même renverser les verres qui la supportaient. Ici, la force a été appliquée d'une manière si prompte, si instantanée que du centre de la verge elle n'a pas eu le temps de se communiquer aux verres servant de support.

Quand la vitesse dont un corps est animé est considérable, l peut se faire qu'il entame un corps plus dur que lui. Cela e comprend. Certainement, au moment du choc, la vitesse lu corps en mouvement est ralentie, mais les parties choquées reçoivent une impulsion assez grande pour être brusquement portées à des distances telles des molécules voisines que la cohésion n'a pas d'action. On explique insi : comment une chandelle de suif, lancée par une arme feu, peut traverser une planche de sapin ; comment on peut entamer une lame de marbre avec un disque de carton tournant rapidement, ou bien encore, couper une lime avec n disque de fer doux animé d'un vif mouvement de otation.

III. FORCE CENTRIFUGE.

C'EST la force en vertu de laquelle les corps animés d'un mouvement de rotation tendent à s'éloigner du centre de otation. Pour produire cette force, il suffit de faire tourner apidement une pierre ou une balle de plomb attachée à extrémité d'une corde, dont on tient l'autre extrémité dans main ; on voit alors la corde se tendre et d'autant plus ue le mouvement de rotation est plus rapide.

Recherchons la cause de cet effet. Si la pierre était bandonnée à elle-même, il est évident qu'à ce moment elle uivrait l'impulsion dont elle est animée, mais elle ne peut uir, maintenue qu'elle est par la corde. D'un autre côté, uisque la corde se tend, il faut bien qu'à son tour la pierre xerce une certaine traction sur cette corde, absolument omme si elle était soumise à l'action d'une force qui tenrait à l'éloigner du cercle qu'elle décrit. Cette force se omme, par suite, la *force centrifuge*.

Si la corde, qui force la pierre à décrire un cercle, vient à briser, la force centrifuge est subitement anéantie et le

mouvement, qui anime alors la pierre, n'est que la continuité de celui qui l'entraînait au moment où elle a cessé de décrire le cercle. On peut démontrer l'existence de cette force centrifuge par un grand nombre d'exemples dont nous citerons les plus intéressants.

IV. FRONDE.

Chacun connaît la fronde, qui sert à lancer les pierres. On sait qu'elle consiste en une lanière de cuir assez large au milieu et se rétrécissant graduellement aux extrémités auxquelles sont attachés deux cordons ; on emprisonne une pierre dans la lanière, puis, passant le doigt du milieu dans la boucle formée par un des cordons, on maintient l'autre avec le pouce et l'index. Alors, on imprime à l'appareil un mouvement rapide de rotation autour de la main. Les cordons se tendent, sous l'influence de la force centrifuge, et lorsqu'on juge l'impulsion suffisante, on lâche un des cordons ; la pierre abandonne la circonférence et s'échappe par la tangente ; mais en vertu de la pesanteur, elle ne tarde pas à décrire l'espèce de courbe désignée, par les mathématiciens, sous le nom de parabole et à aller tomber à une certaine distance du point de départ. Toute l'adresse du frondeur consiste à abandonner la pierre à un instant convenable, pour qu'elle puisse gagner le point qu'il s'est proposé d'atteindre.

V. EMPLOI DE L'EAU POUR DÉMONTRER L'EXISTENCE DE LA FORCE CENTRIFUGE.

On prend un pinceau un peu fort et on le trempe dans l'eau ; lorsque le crin a été suffisamment imbibé, on retire le pinceau de l'eau et l'on roule le manche entre les deux

mains, de manière à produire un mouvement circulaire; on voit alors l'eau abandonner le crin, en produisant une espèce de gerbe à convexité supérieure. Cette expérience s'exécute d'une manière plus élégante en employant le procédé suivant. On suspend, à trois cordons d'égale longueur, un vase hémisphérique, on tord ces cordons, on les maintient dans la position qui leur a été communiquée par la torsion et, pendant ce temps-là, on remplit le vase d'eau jusqu'au bord. Si alors on vient à abandonner les cordons, ils se détordent et communiquent au vase un mouvement de rotation, sous l'influence duquel le liquide abandonne le vase, en formant une gerbe qui se précipite vers le sol. Le mouvement que contracte l'eau, dans ces deux expériences, permet d'expliquer les étourdissements que déterminent certains exercices où l'on tourne rapidement, tels que le jeu de bague, l'escarpolette, car alors le sang tend à s'éloigner du centre de rotation.

VI. LA FORCE CENTRIFUGE REND COMPTE DE L'EXPÉRIENCE SUIVANTE.

Suspendons un seau plein d'eau à l'extrémité d'une corde et faisons-le tourner comme une fronde, le vase restera plein, quoiqu'il soit complètement renversé quand il est en haut du cercle. Pour que l'eau soit ainsi soustraite à l'action de la pesanteur, il faut qu'une force au moins égale et de sens contraire intervienne ; c'est la force centrifuge.

VII. CHEMIN DE FER AÉRIEN À FORCE CENTRIFUGE.

Le jouet suivant est un exemple curieux des effets de la force centrifuge. C'est un petit chemin de fer (Fig. 5) formé par deux rails parallèles qui forment d'abord une

pente assez raide, puis se contournent en une hélice, dont l'axe est horizontal. Un petit chariot dans lequel on peut placer soit un vase plein d'eau, soit une pièce de monnaie, part du point le plus élevé et roule sur la pente, mais il est bientôt obligé de suivre les rails courbés qui lui sont offerts,

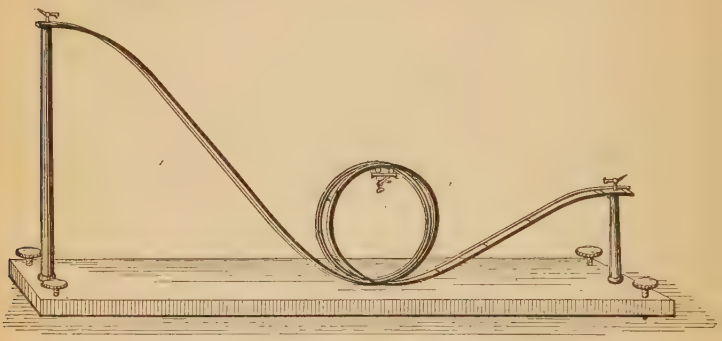


Fig. 5. — Chemin de fer aérien à force centrifuge.

et alors il les presse de dedans en dehors par l'effet de la force centrifuge. On a donné au point de départ une hauteur suffisante pour que cette force centrifuge puisse équilibrer le poids du chariot qui, en sortant de la spire, remonte sur une deuxième pente où sa vitesse est bientôt détruite.

VIII. TOUPIE.

Tout le monde connaît la toupie, elle a charmé les loisirs de notre enfance à tous, et que de fois nous nous sommes complus à la voir *dormir*, sans chercher à découvrir les causes de son mouvement ! On sait que ce jouet consiste en un morceau de bois tourné en forme de poire, qu'on enveloppe d'une corde roulée en spirale. Lorsque, lançant la toupie vers le sol, l'extrémité la plus déliée en bas, on la détache

en même temps de la corde, elle se met à tourner, en sens opposé à celui de l'enroulement, sur la pointe dont elle est armée en ce bout.

Ce mouvement est le résultat des deux forces, savoir : celle qui a mis la toupie en mouvement et la pesanteur. (Il s'explique, en sachant que les vitesses de rotation se composent, comme les vitesses de translation, par la règle du parallélogramme.) Lorsque la toupie est lancée sur un plan horizontal, son axe ne tarde pas à se placer perpendiculairement à ce plan, et elle reste en équilibre dans cette position. Cela doit être, car en cherchant la résultante de la pesanteur qui tend à la faire tomber et de la force centrifuge qui agit tangentiellement à sa surface,[1] on voit que cette dernière force triomphe de la pesanteur. Dans cette situation, la toupie semble ne plus bouger, elle *dort*, mais son mouvement doit forcément s'arrêter, car : 1° la pointe de fer subit un certain frottement sur le sol ; 2° l'air oppose, au mouvement du mobile, une résistance dont on peut se rendre compte, en sachant qu'on a vu une toupie, lancée dans le vide, n'abandonner son mouvement qu'au bout de deux heures.

La vitesse de rotation venant à diminuer, la force centrifuge contre-balance, de moins en moins, l'influence de la pesanteur ; l'axe se déplace de plus en plus et décrit un cône autour de la verticale jusqu'au moment où le jouet se penche tout à fait et roule sur le sol.

Un fait important se dégage de cette expérience, c'est que l'axe de la toupie est resté parallèle à lui-même tout le temps que le mouvement de rotation a été suffisamment prononcé, et c'est à la rotation qu'il faut attribuer cette direction constante de l'axe, puisque la toupie se renverse immédiatement dès que ce mouvement cesse. Ce fait est désigné, en mécanique, sous le nom de : *conservation du parallélisme des couples* ou *du parallélisme des axes de rotation.* C'est grâce à cette persistance que le *cerceau* tourne sous le

coup de baguette de l'enfant. Personne n'ignore qu'il est impossible de faire tenir ce jouet dans un plan vertical, s'il est immobile ; mais vient-on à le lancer, à lui communiquer un vif mouvement de progression, il roule sur sa circonférence sans tomber. Si l'impulsion s'affaiblit, si la force centrifuge qui agissait tangentiellement au cercle vient à diminuer, le cerceau exécute encore quelques évolutions, puis s'incline et tombe.

Cette persistance des axes de rotation, qui semble soustraire les corps tournants à l'action de la pesanteur, se produit dans certaines circonstances remarquables, tels sont les cas de ces objets, en équilibre sur l'extrémité d'une baguette, que les équilibristes font tourner, avec vitesse, à la grande admiration des spectateurs ; tels sont les cas de la toupie gyroscopique et du vélocipède.

IX. TOUPIE GYROSCOPIQUE.

C'EST un disque métallique très lourd, monté sur un axe et formant une sorte de toupie, qu'on fait reposer, par une de ses extrémités sur le socle S, tandis que l'autre extrémité est tenue à la main. A l'aide d'une ficelle, on donne au

FIG. 6. — Toupie gyroscopique.

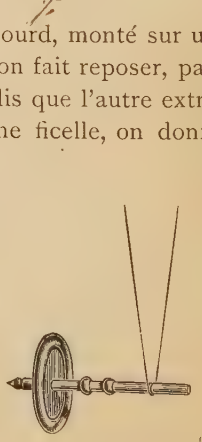


FIG. 7. — Toupie gyroscopique suspendue en l'air.

disque un mouvement très rapide de rotation, absolument comme à une toupie ordinaire, puis on l'abandonne à lui-même, en retirant le doigt qui supportait une des extrémités. Or, si dans cette position la masse T était immobile, elle ne manquerait pas de tomber ; loin de là, on voit la toupie continuer son mouvement de rotation sur elle-même,[1] en tournant autour du point d'appui ; son axe reste incliné en décrivant lentement, autour de la verticale, une surface conique régulière, jusqu'à ce que, le premier mouvement venant à se ralentir et la pesanteur prenant le dessus,[2] il s'incline progressivement et finisse par tomber.

On peut suspendre la toupie d'une autre façon ; ainsi l'axe étant placé dans l'anse d'une corde, la toupie reste suspendue dans l'espace (Fig. 7) comme si elle était soustraite à la pesanteur.

X. VÉLOCIPÈDE OU BICYCLE.

C'EST un appareil propre à transporter une personne seule ou chargée d'un fardeau peu considérable, au moyen des effets musculaires qu'elle développe, en faisant tourner les roues d'une petite voiture réduite à sa plus simple expression.

Il se compose (Fig. 8) de deux roues, une grande, R, placée en avant et réunie à une petite, R′, par le moyen d'une espèce de fourche métallique entre les branches de laquelle la petite roue accomplit son évolution. La grande roue tourne elle-même, dans une semblable fourche, mais celle-ci est perpendiculaire et se termine à son extrémité supérieure par une traverse M sur laquelle le cavalier appuie les deux mains pour diriger la roue R : c'est le *gouvernail*.

L'axe, qui traverse la roue, est rivé sur les deux branches de la fourchette ; de chaque côté de cet axe sont fixés les supports des pédales, *p*, où le cavalier pose les pieds, acti-

vant ou diminuant la vitesse de la course, suivant qu'il appuie avec plus ou moins de force sur ces pédales. En portant la masse en avant, il tire pour ainsi dire la petite roue après lui. Pour cela, il est assis sur une sorte de petite selle, A, rembourrée de crin ou de laine et supportée par une mince et flexible lame d'acier, *rr*, tendue horizontalement afin d'éviter les secousses et les chocs. Un frein permet d'arrêter ou de modérer une allure trop rapide, sur une pente. Le diamètre de la grande roue varie entre soixante

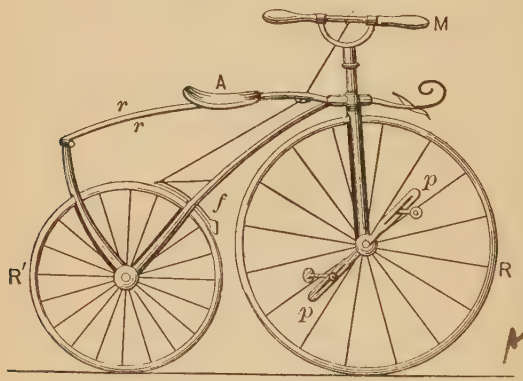


FIG. 8. — Vélocipède.

et cent dix centimètres ; les dimensions les plus ordinairement adoptées sont de quatre-vingt-dix centimètres. On comprend d'ailleurs que ces dimensions puissent varier avec la taille du cavalier. La manette M sert en même temps à manier le frein *f*, c'est un ressort suspendu par une chaînette ; si l'on tourne la manette, la chaînette s'enroule et applique, sur la roue R', une portion plus ou moins longue du frein.[1]

Le mot *équilibre* résume toute la théorie du vélocipède. Mais cet équilibre ne s'acquiert qu'au bout d'un certain temps ; on ne parvient à le posséder, à manier cette monture,

qu'après quelques tâtonnements, quelques exercices que l'on peut résumer ainsi :

Il convient de choisir une grande route bien unie et ayant une légère pente, au sommet de laquelle on place le vélocipède, de manière à ce qu'il ait devant lui, une carrière en pente de vingt à trente mètres. Alors, on serre le frein, on enfourche[2] l'instrument, on saisit des deux mains les deux extrémités du gouvernail, en laissant pendre les jambes de manière à ce que l'extrémité du pied touche presque la terre. Puis on desserre le frein et on laisse le vélocipède franchir doucement l'espace en pente qu'il a devant lui, sans changer de position. Le véhicule avancera d'abord avec une vitesse insignifiante, qui s'accroîtra en raison de la longueur du chemin franchie, mais qu'il sera toujours possible de réduire en serrant le frein.

Lorsqu'après avoir répété plusieurs fois cet exercice, on sera familiarisé avec la position d'équilibre qu'il convient de garder, on pourra, mais seulement alors, placer les pieds sur les pédales et continuer le même travail dans cette nouvelle position. Quant au gouvernail, c'est un véritable balancier qui sert à régulariser l'équilibre. Cet équilibre vient-il à manquer au cavalier, est-il menacé d'une chute plus ou moins dangereuse ? Il n'a qu'à tourner brusquement la roue de devant au moyen du gouvernail, car l'angle qu'a décrit le corps de l'expérimentateur, au moment où il a cessé d'être en équilibre, étant peu considérable, un déplacement du gouvernail, même léger, suffit pour détruire la cause perturbatrice. Un peu d'exercice suffit pour rendre cette pratique familière, on l'exécute naturellement au bout d'un certain temps, et même d'une façon inconsciente, quand l'occasion se présente.

Quand on est arrivé à ce degré d'instruction, on place le vélocipède de manière que la pédale droite se trouve en dessus, et alors la jambe gauche restant à terre, on passe la

jambe droite par-dessus la sellette, et l'on engage le pied droit dans la pédale droite. Pendant cette manœuvre, un ami complaisant a maintenu le vélocipède en place en appuyant légèrement sur la partie postérieure du ressort. Si, alors, on exerce une pression avec le pied droit sur la pédale qui le supporte, celle-ci s'abaissera et fera mouvoir la roue de devant, mais l'autre pédale s'étant élevée on y engagera le pied gauche et on y exercera un effort qui la fera descendre, pendant que la droite remontera. Il est important, en ce moment, que la jambe gauche ne se raidisse pas, car elle paralyserait l'impulsion donnée par la jambe droite. On continuera alternativement ces pressions. Le pied doit être placé sur la pédale, de manière à faire porter le talon.

Lorsqu'on a à gravir une pente un peu raide, il arrive qu'on est obligé de *descendre de cheval.* On arrive à diminuer le travail nécessaire pour pousser le vélocipède devant soi et la fatigue qui en résulte, en posant son coude sur la selle et continuant à diriger l'instrument à l'aide du gouvernail. Cette fatigue est d'ailleurs compensée lorsqu'il faudra descendre une pente : si l'inclinaison est suffisante, les jambes n'ont rien à faire, et le cavalier, entraîné par son propre poids, n'a qu'à régler sa marche à l'aide du gouvernail et du frein. La fatigue produite par le vélocipède est à peu près égale à celle de la marche pendant le même temps, mais comme on fait beaucoup plus de chemin, cette fatigue se trouve être moindre relativement à la distance parcourue.

XI. PESANTEUR.

La pesanteur est une force qui fait tomber tous les corps vers le centre de la terre, dès qu'ils ne sont plus soutenus. Si quelques corps tels que la fumée, les nuages, paraissent

faire exception, c'est qu'ils sont soutenus dans l'atmosphère, de la même façon qu'un bouchon de liège est soutenu par l'eau, et quelque paradoxale que la chose paraisse, on peut dire que c'est sous l'influence de la pesanteur, qu'ils s'élèvent au lieu de tomber.

Tous les corps ne tombent pas également vite sous l'influence de la pesanteur. Ainsi, une balle de plomb, une feuille de papier, une plume, tombent avec des vitesses inégales. Quelle est la cause qui produit cette inégalité dans la chute? La physique démontre que tous les corps tombent avec la même vitesse dans le vide, et que si, par suite, une inégalité se remarque dans le temps nécessaire pour que les corps, tombant de la même hauteur, gagnent le sol, cette perturbation ne peut être attribuée qu'à l'air. L'influence perturbatrice de l'air peut être mise en évidence par les expériences suivantes.

XII. EXPÉRIENCE DE BÉNÉDICT PRÉVOST.

On prend une pièce de monnaie et l'on taille dans une feuille de papier une rondelle égale en diamètre au disque métallique. Quand on fait tomber les deux disques séparément, on voit la monnaie descendre plus rapidement que la rondelle. Mais vient-on à appliquer le papier sur le métal, et à abandonner le tout, l'air ne réagit plus sur la rondelle qui suit le métal jusqu'au moment où il touche le sol.

XIII. INFLUENCE DE LA SURFACE.

Si l'on abandonne une feuille de papier à elle-même, après l'avoir placée à une certaine hauteur au-dessus du sol, elle n'arrive à terre qu'au bout d'un certain temps, par secousse

et après plusieurs déviations. Si l'on roule une feuille de papier, de même grandeur et de même épaisseur, en boule aussi serrée que possible, elle mettra pour gagner le sol un temps bien moins considérable, car sa surface est moindre et par conséquent l'action retardatrice de l'air est en partie conjurée.

XIV. MARTEAU D'EAU.

On prend un tube creux de laiton d'un centimètre environ de diamètre intérieur et d'un mètre environ de longueur ; on le ferme à l'extrémité inférieure, et on adapte un robinet à la partie supérieure. Alors on le remplit d'eau, à peu près au tiers, puis le robinet étant ouvert, on soumet l'eau à l'ébullition. Lorsqu'on juge, par la quantité de vapeur qui s'est échappée, que tout l'air a été expulsé, on ferme le robinet et on laisse refroidir. Quand le refroidissement est complet, si l'on renverse brusquement ce tube, l'eau ne rencontrant aucune résistance de la part de l'air, ne se divise pas, elle tombe en une seule masse et produit un son semblable à celui qui résulterait du choc d'un cylindre de métal contre une paroi métallique. Si maintenant on ouvre le robinet pendant un instant, on entend un sifflement provenant de la rentrée de l'air, et alors le son métallique que produit le retournement s'affaiblit. Ce son cesse complètement et fait place au bruit bien connu qui accompagne l'eau qui tombe, quand on a permis la rentrée complète de l'air.

XV. ÉQUILIBRE.

On appelle *centre de gravité* d'un corps le point d'application de toutes les forces qui attirent les différentes parties de ce corps vers le centre de la terre. Un corps est *en équilibre* quand son centre de gravité est soutenu.

Supposons un disque de métal parfaitement homogène et régulier, perçons-le de trois trous égaux, l'un au centre, les deux autres à égale distance du centre et sur un même diamètre. Prenons d'un autre côté une broche ou cheville métallique pouvant être placée à volonté dans l'une des trois ouvertures. Si nous introduisons la broche dans l'ouverture centrale, et si nous la tenons horizontalement à la main, nous verrons que le disque persistera dans l'immobilité quelle que soit la position qu'il affecte par rapport à la broche. Ce sera là un *équilibre indifférent.*

Si nous portons maintenant la broche dans le trou supérieur, le disque restera encore immobile, mais si on le déplace soit à gauche soit à droite, on relèvera son centre de gravité, et si on l'abandonne de nouveau à lui-même, il oscillera jusqu'à ce que ce centre de gravité vienne se placer dans le plan vertical du point de suspension. C'est l'*équilibre stable.*

Enfin, si la broche est placée dans le trou inférieur, le disque pourra encore être en équilibre, mais il faut pour cela que son centre de gravité se trouve bien exactement dans le plan vertical de la broche ; car, si cette condition n'est pas remplie, la masse métallique se déplace de sa position d'équilibre pour ne plus y revenir ; c'est l'*équilibre instable.*

Il est évident qu'un cylindre métallique homogène, pourvu qu'il ait une certaine hauteur, pourra toujours rester en équilibre indifférent lorsqu'on viendra à le coucher, par sa tranche, sur un plan horizontal. Mais si au lieu d'un cylindre homogène, on emploie un cylindre en bois, par exemple, dont le centre de gravité aura été amené très près de la circonférence, par une masse de plomb qu'on y aura incrustée, il est évident qu'il n'y aura que deux positions d'équilibre possibles pour un pareil système. C'est quand le centre de gravité et le point de contact du cylindre seront

sur la même verticale ; l'équilibre sera instable ou stable suivant que le centre de gravité sera au-dessus du point d'appui ou coïncidera avec lui.

XVI. CYLINDRE REMONTANT UN PLAN INCLINÉ.

Supposons maintenant qu'on place un pareil cylindre au bas d'un plan incliné (Fig. 9), de manière que son centre de gravité soit le plus loin possible de ce plan ; si l'on pousse légèrement ce cylindre vers la gauche, on le voit rouler en remontant jusqu'à ce que son centre de gravité soit arrivé aussi bas que possible, ou, ce qui revient

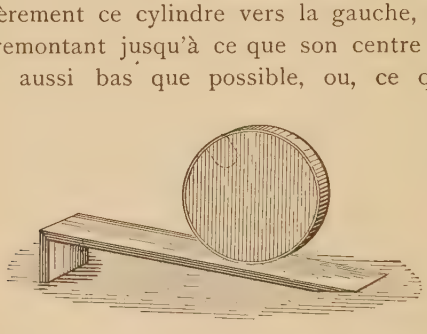


Fig. 9. — Cylindre remontant un plan incliné par le déplacement du centre de gravité.

au même, jusqu'à ce que le plomb soit en contact avec le plan incliné. Malgré les apparences, le cylindre tombe dans cette expérience. En effet, un corps tombe toutes les fois que son centre de gravité se rapproche du centre de la terre. Or, dans le cylindre, le centre de gravité avoisinant la masse de plomb et le mouvement ascensionnel tendant à rapprocher cette masse du centre de la terre, ce n'est point un mouvement ascendant, mais bien un mouvement descendant que subit le système.

On peut faire cette expérience à peu de frais, en se servant d'un coulant de serviette dans l'intérieur duquel on

fixera, à l'aide d'un peu de cire molle, une petite balle de plomb ; il sera facile de faire remonter le coulant ainsi lesté le long d'une planchette qu'on placera dans une position plus ou moins oblique par rapport à l'horizontale.

L'expérience suivante est encore plus singulière : elle consiste à remplacer le cylindre par un double cône homogène en bois et placé sur deux planchettes triangulaires posées de champ[1] et réunies sous un certain angle par la partie la plus basse. Dans le double cône, le centre de gravité est placé sur la ligne qui joint les deux sommets : or si l'on place cette masse sur le point le plus bas de l'appareil, elle se met spontanément à rouler en remontant la pente des deux planchettes. Mais ce mouvement ascensionnel, ici encore, n'est qu'apparent ; en effet, les deux cônes s'appuient, sur les deux bandes, par des points qui sont de plus en plus éloignés de la base commune, c'est-à-dire de plus en plus rapprochés de leur axe ; or, puisque cet axe contient le centre de gravité, ce point s'abaisse réellement si les bandes font un angle suffisamment ouvert.

On peut réaliser une expérience analogue sur un billard quelconque. Pour cela on prend deux queues et on les rapproche, par leur petit bout, en leur faisant faire un certain angle en rapport avec le diamètre de la bille. On place ensuite cette bille vers le sommet de l'angle et on l'abandonne à elle-même. On la voit alors glisser du petit bout vers le gros bout, comme si elle remontait un plan incliné. En réalité, le centre de figure de la bille et le centre de gravité, points qui se confondent, se sont, pendant toute la durée du mouvement, rapprochés du sol, et par conséquent c'est à un mouvement descendant qu'a obéi le mobile. Mais comme l'œil suit les lignes montantes des queues il semble que ce mouvement ait été ascendant.

Supposons maintenant qu'au lieu du disque métallique qui a été le point de départ de ces considérations sur l'équilibre, nous ayions affaire à un corps quelconque suspendu, mais pouvant exécuter certains mouvements autour de son point de suspension, la loi précédente sera encore vraie et l'on pourra dire : que l'équilibre est instable, si le centre de gravité est situé verticalement au-dessus du point de suspension, qu'il est stable si ce centre de gravité est placé verticalement au-dessous de l'axe. Ainsi,

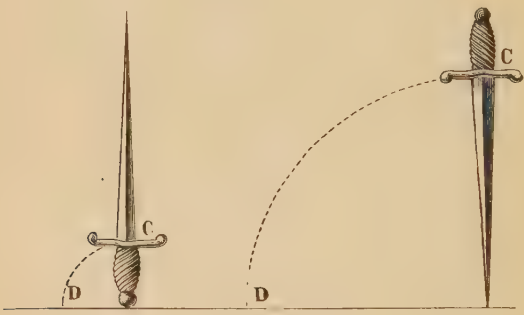


FIG. 10. — Deux épées en équilibre.

par exemple, enfonçons dans un morceau de liège deux couteaux dont les directions forment un angle aigu ; puis, après avoir piqué une épingle dans le bouchon d'une bouteille fermée au liège, plaçons le système des deux couteaux sur la tête de cette épingle. Avec quelques tâtonnements on finira par trouver une position d'équilibre telle que le système écarté de la position qu'on lui a donnée y revient toujours après quelques oscillations.

On peut dire que l'équilibre est d'autant plus stable que le centre de gravité est placé plus bas ; cependant quelques faits semblent en contradiction avec cette vérité. Chacun connaît la difficulté qu'il y a à faire tenir un bâton debout

en équilibre sur le doigt, l'équilibre est ici très instable, on ne parvient à maintenir l'objet, pendant quelque temps, dans une position voisine de la verticale qu'en contrariant, avec le doigt, les oscillations du centre de gravité. Pourtant, chose singulière, si on vient à charger l'extrémité supérieure du bâton avec un certain poids, du plomb par exemple, il sera plus facile de réaliser l'équilibre que si le poids se trouvait à l'extrémité inférieure, et voici pourquoi. Au fur et à mesure que le centre de gravité s'éloigne du point d'appui mobile que lui présente le doigt,

Fig. 11. — Paradoxe mécanique.

il décrit des arcs d'un moins grand nombre de degrés pour un même chemin parcouru, et la force qui tend à faire tomber le bâton croît seulement avec le nombre de degrés que décrit son centre de gravité en dehors de la verticale. Une épée (Fig. 10) s'équilibre beaucoup mieux quand elle repose sur l'extrémité de la lame, que sur le pommeau de la poignée.

Dans tout autre cas, il y a avantage à placer le centre de gravité aussi bas que possible, afin d'obtenir une plus grande stabilité. Ainsi dans le petit cavalier en bois ou en carton représenté par la Fig. 11, le centre de gravité se

trouve à peu près au milieu du groupe. Si nous plaçons les jambes de derrière du cheval sur le bord d'une table, il est évident que l'équilibre est impossible. Pour obtenir cet équilibre il suffit de planter, dans le ventre du cheval, un fil de fer recourbé pouvant s'engager sous la table et muni à son extrémité d'une petite masse de plomb. En opérant ainsi, on a reporté le centre de gravité plus près de la table, et les pieds de derrière de l'animal deviennent le point de suspension du jouet. On a donc pu dire assez paradoxalement que, lorsqu'un corps avait une tendance à tomber d'un côté sous l'influence de son propre poids, on pouvait prévenir sa chute en lui ajoutant un autre poids de ce même côté.

Les deux expériences suivantes appartiennent au même ordre de faits.

(*a*) On place sur une table *AB* (Fig. 12) un bâton *DC* de telle façon qu'une moitié repose sur la table, tandis que l'autre déborde ; puis on passe dans une coche pratiquée

Fig. 12. — Un bidon suspendu à l'aide de deux bâtons sur le bord d'une table.

en *H*, dans ce bâton, l'anse d'un bidon vide. Il est évident que si l'on abandonnait ce système à lui-même, le bâton entraîné par le bidon ne tarderait pas à quitter la table. Maintenant remplissons le bidon d'eau, sans arriver au bord pourtant, et à l'aide d'une légère modification dans sa position nous allons parvenir à maintenir le bâton dans

sa position horizontale malgré le poids supplémentaire dont nous l'avons chargé. Il suffit pour cela de creuser dans la partie inférieure du bâton une autre coche *E* et d'y engager un deuxième bâton qui repousse sous la table le fond du bidon. Ce vase se maintient alors dans la position qu'on lui a donnée, car la verticale passant par l'obstacle

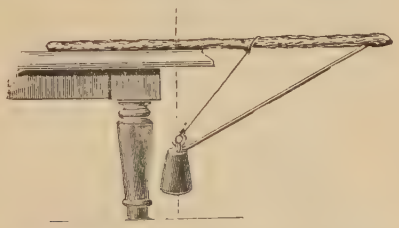


FIG. 13. — Un poids suspendu à l'aide d'une corde et de deux bâtons sur le bord d'une table.

fixe contient le centre de gravité au-dessous de ce point. On a dit avec raison que cet équilibre n'avait rien d'extraordinaire, car le bidon et les deux bâtons suspendus à la table constituent un ensemble ressemblant à une cuiller à pot retenue à un clou par son crochet.

(*b*) On peut au lieu d'un bidon employer un poids d'un ou de plusieurs kilogrammes, une corde et un bâton comme le montre la Fig. 13.

(*c*) Voici encore une expérience d'équilibre indiquée par le *Magasin pittoresque*,[2] qui est de nature à exciter l'intérêt, car de prime abord on ne voit pas où se trouve la verticale du centre de gravité. L'expérience consiste à faire tenir une pièce de cinq francs en équilibre (Fig. 14) par sa circonférence extérieure, contre le bord extérieur d'un verre à boire. Pour maintenir la pièce de cinq francs dans cette position, on la passe entre les dents de deux fourchettes, après l'avoir posée contre le bord du verre ; on incline plus ou moins la direction des fourchettes jusqu'au moment où

celles-ci seront presque au bord de la pièce, on finit ainsi par arriver à l'équilibre. Le centre de gravité du système formé par les deux fourchettes et la pièce de cinq francs tombe au centre de la circonférence formée par le bord du verre.

Lorsque le corps au lieu d'être suspendu est directement en contact avec le sol, les conditions d'équilibre sont

FIG. 14. — Une pièce de cinq francs en équilibre sur le bord d'un verre à boire.

encore les mêmes ; il faut que la verticale menée par son centre de gravité passe dans la surface qui est en contact avec le sol et qu'on appelle *la base de sustentation*. Ainsi il est malaisé de faire tenir une canne verticalement parce que la base de sustentation est très étroite et qu'il est par suite difficile de faire tomber, dans cet espace, la verticale qui passe dans le centre de gravité ; tandis qu'au con-

traire, en couchant la canne sur le sol, elle reste immobile, car on agrandit la base. Ainsi encore, étant donnés les trois points *ABC* (Fig. 15) formant les trois sommets d'un triangle, il sera possible de les relier par un pont commun

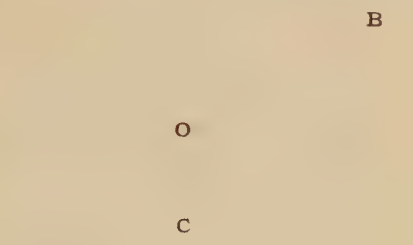


Fig. 15. — Pont de planches.

à l'aide de trois planches moins grandes que la distance d'un de ces points à l'autre. Il suffit pour cela de croiser deux planches partant de *A* et de *B*, de façon qu'elles se rencontrent en *O*, on fait ensuite passer la planche qui part de *C* sur la planche qui part de *A* et sous celle qui part de *B*, on a ainsi un pont qui relie les trois points.

XVII. PONT DE FOURCHETTES.

Au lieu des trois points et des trois planches de la figure précédente, on pourrait se servir de trois verres à boire, de trois fourchettes et se proposer de jeter avec ces fourchettes un pont sur les verres. Pour cela (Fig. 16) on prend la fourchette *A*, on appuie ses dents sur un des verres, en tenant l'autre extrémité élevée, de manière à former avec l'horizontale un angle fort aigu. On applique ensuite, de la même manière, la fourchette *C*, sur le deuxième verre, en l'engageant par son manche sous la fourchette *A*; puis, après avoir fait reposer par ses dents la troisième fourchette

B sur le verre restant, on l'engage, par son manche, sous *C* d'une part, et sur *A* de l'autre. Les trois fourchettes sont ainsi liées l'une à l'autre, de telle façon que leurs manches restent en l'air, en se supportant les uns les autres. On

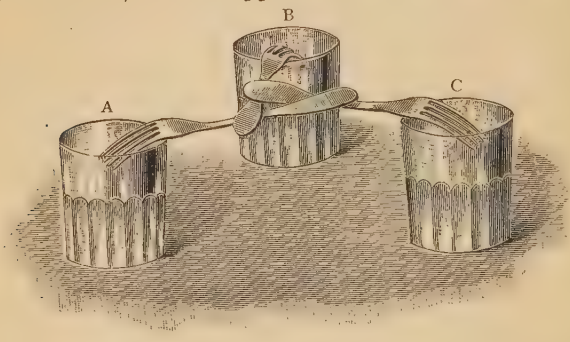


FIG. 16. — Pont de fourchettes.

aura soin de placer, préalablement, les verres de telle manière qu'ils occupent les trois sommets d'un triangle équilatéral. On peut substituer aux fourchettes trois autres corps tels que des couteaux, des bâtons, dont une extrémité reposerait sur une table ou sur le sol.

XVIII. CULBUTEUR CHINOIS.

LORSQUE le centre de gravité d'un corps se déplace, ce qu'on peut obtenir en mettant des liquides en mouvement dans l'intérieur de ce corps, et que par certains artifices de mécanique on parvient à cacher au spectateur ces mouvements, on réalise plusieurs effets assez curieux.

C'est ce qui a lieu dans les *Culbuteurs chinois* (Fig. 17). Ces figures, importées de la Chine, exécutent les tours d'équilibre familiers aux acrobates, en s'élançant successivement sur tous les degrés d'un escalier depuis le plus haut

jusqu'au plus bas. Ici les mouvements sont dus, d'une part, à la mobilité des parties constituantes du corps du personnage et de l'autre à l'écoulement d'une certaine quantité de mercure qui, passant alternativement de la

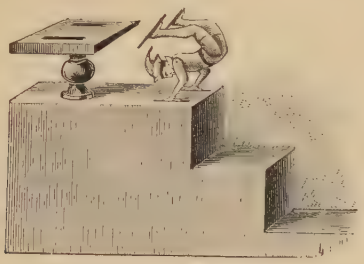


Fig. 17. — Culbuteur chinois.

partie supérieure du corps dans la partie inférieure, change les positions des parties, de degré en degré, jusqu'à ce que le centre de gravité trouve un point d'appui. Tous ces mouvements présentent une certaine lenteur qui résulte du temps nécessaire pour que le mercure puisse passer de la cavité supérieure dans la cavité inférieure.

XIX. POURQUOI L'HOMME PEUT-IL SOUFFLER LE CHAUD ET LE FROID.

On peut, à volonté, faire sortir de la vapeur froide ou chaude d'une chaudière à vapeur en ébullition. De même, l'homme pourra à volonté souffler de l'air chaud ou froid. La température du corps étant de 36°, il n'y a rien d'étonnant que l'air qui sort des poumons puisse réchauffer les doigts si la température ambiante est dans le voisinage de 0°, mais il importe de remarquer que lorsqu'on souffle sur ses doigts pour les réchauffer, instinctivement on ouvre

largement la bouche, et on laisse glisser doucement l'air sur les mains, de manière à mélanger, aussi peu que possible, l'air chaud provenant de la poitrine à l'air froid de l'atmosphère. C'est une expérience analogue à celle de la chaudière qui laisse écouler la vapeur à la température où elle s'est formée. Au contraire, si l'on souffle sur un liquide chaud pour le refroidir, on entr'ouvre à peine la bouche, et l'on comprime dès lors l'air qu'elle contient, au moment où l'on expulse ce gaz. Celui-ci se dilate à sa sortie ; par suite, en venant tomber sur le liquide, il en provoque l'évaporation, d'où résulte un abaissement de température.

XX. LAMPE DE DAVY.[1]

La propriété des tissus métalliques découverte par Davy a été utilisée par ce physicien dans la lampe qui porte son nom et qu'il a construite pour l'usage des mineurs. On sait qu'il se dégage, dans les mines de houille, un gaz particulier ou hydrogène carboné auquel les mineurs donnent le nom de *grisou* et qui, quand il est mélangé avec huit ou dix fois son volume d'air, détone avec une violence extraordinaire au contact d'un corps enflammé. Grâce à la toile métallique qui enveloppe la flamme dans la lampe de Davy, la détonation se produit à l'intérieur de la lampe, elle ne se propage pas au dehors et l'ouvrier averti peut abandonner la mine où sa vie est en danger. Malheureusement, quand l'explosion de grisou se produit, la lampe s'éteint d'ordinaire et il serait impossible à l'ouvrier de fuir, au milieu de l'obscurité. Pour remédier à cet inconvénient, le physicien anglais disposa, dans la flamme de son appareil, une hélice en fil de platine qui reste incandescente quand la lampe s'éteint, pendant tout le temps que l'appareil reste plongé

dans une atmosphère inflammable. Cette spirale répand assez de lumière pour permettre au mineur de se diriger dans la galerie qu'il occupait.

XXI. CLOCHES D'ÉGLISE EN ACIER FONDU.

Jusque dans ces derniers temps, les fondeurs de cloches employaient pour cette fabrication un alliage spécial dit *métal de cloches*, composé de cuivre et d'étain. Il a paru possible d'obtenir ces cloches à l'aide de l'acier fondu ; des essais nombreux ont été faits, qui ont donné d'excellents résultats, aussi n'a-t-on pas hésité et cette fabrication est devenue courante. Les nouvelles églises en Angleterre sont pourvues de carillons complets dont la matière première, l'acier fondu, coûte beaucoup moins cher que le bronze. Le son de ces cloches d'acier est beaucoup plus clair, plus aigu et plus argentin, il ne rappelle en rien celui des anciennes ; l'oreille le perçoit clairement à une distance bien plus considérable. La forme des nouvelles cloches est exactement semblable à celle des anciennes. La marine de guerre du Royaume-Uni[1] avait la première donné l'exemple dans l'emploi de ce métal, en faisant installer[2] à bord de ses navires, il y a déjà plus d'un an, ces instruments d'acier.

XXII. LE TRAVAIL PROPRE DU VENT.

Le professeur S.-P. Langley qui, depuis longtemps, s'occupe activement des *aérodynamomètres*, vient de publier sur ce qu'il nomme le *Travail propre du vent*, un curieux mémoire. Dans ses conclusions, l'auteur affirme que, mécaniquement et pratiquement, un corps pesant muni de surfaces planes ou courbes convenables, peut rester en sus-

pension dans l'air indéfiniment, se mouvoir même en sens inverse du vent, sans nécessité d'une impulsion donnée de terre. Cela se produirait par le fait seul de la constitution hétérogène du vent qui se compose de rafales se succédant à intervalles à peu près égaux.

Ce phénomène prouvé de la façon la plus absolue par ce savant, à l'aide de graphiques[1] obtenus avec des anémomètres placés à 45 mètres au-dessus du niveau du sol, se produit de la façon suivante. Avec un vent possédant une vitesse de 37 kilomètres à l'heure au commencement de l'expérience, l'instrument indiquait au bout de six secondes un accroissement sensible dans la marche du vent qui atteignait 53 kilomètres, puis dix secondes après 58 kilomètres. Cette vitesse diminuait passant successivement par des maxima et des minima séparés par des intervalles à peu près réguliers de dix secondes ; elle devenait nulle à certains moments.

Le vent agissant sur un corps libre placé sous un angle convenable, l'entraîne jusqu'au moment où il a atteint la même vitesse. Si la vélocité du vent varie d'une manière absolue ou relative, et que l'angle du corps en suspension change en même temps, ce dernier sera entraîné d'autant plus loin que son poids est plus considérable. Si un corps lourd peut s'élever ainsi, il s'ensuit qu'il marchera également dans une direction opposée au vent, pourvu que ce dernier n'ait pas trop de violence, par le seul fait de l'énergie déjà acquise venant du côté d'où souffle le vent. D'après le Dr Langley, la seule difficulté réside dans la construction d'un appareil de démonstration offrant au vent, au fur et à mesure de ses fluctuations continuelles, des inclinaisons variables et appropriées. Il ajoute qu'il ne croit pas que la solution à intervenir[2] soit irréalisable pour lui et qu'avant peu il pourra prouver matériellement les faits avancés.

XXIII. LES NUAGES ARTIFICIELS.

Les nuages artificiels ont pour but de protéger les récoltes contre les dommages considérables causés par les gelées blanches. Voici le système employé par M. Coste, directeur de la Compagnie viticole d'Amourah (Algérie).

On place du goudron dans un plat en tôle emboutie de $0^m, 07$ [1] de hauteur et de 50 centimètres de diamètre à la partie supérieure ; au centre du baquet, on met debout un fagot de sarments, de $0^m, 35$ de hauteur et de 20 centimètres de diamètre, et traversé par un petit paquet de brindilles de sarments préalablement trempé dans du soufre en fusion.[2] Enfin, au-dessus du plat et du fagot, on dispose une cloche en tôle de $0^m, 65$ de hauteur et de 65 centimètres de diamètre, pour empêcher la pluie de venir mouiller le fagot.

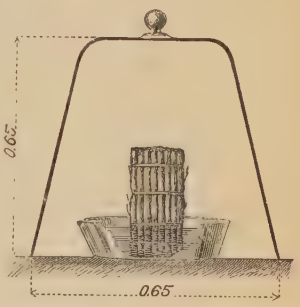


Fig. 18.

Un foyer ainsi constitué est disposé au coin de chaque carré de vigne. Ces foyers, distants de 125 mètres les uns des autres, restent en permanence sur le terrain prêts à être allumés au premier signal. Il suffit à chaque printemps de rafraîchir le goudron et de remplacer les fagots allumeurs qui auraient disparu.

L'allumage s'opère avec rapidité dès que le besoin s'en fait sentir. Le directeur du domaine, prévenu par une sonnerie automatique reliée à un thermomètre enregistreur que la température s'abaisse et se rapproche de 0°, fait tirer un coup de canon pour avertir son personnel de se tenir prêt à l'allumage. Il se dirige ensuite vers un observatoire et, lorsque la température s'abaissant encore, la gelée

blanche est à craindre, ce dont on est surtout averti par l'aspect de certaines plantes qui entourent l'observatoire, il fait tirer un deuxième coup de canon. A ce signal tous les foyers sont allumés en trente minutes au plus et tout le domaine est couvert d'un épais nuage noir. Les foyers brûlent plus d'une heure et le nuage persiste, pendant plus de quatre heures. Chaque foyer emploie 20 kilogr. de goudron, soit pour 0 fr. 80^3 de cette substance, et le fagot complet revient à 0 fr. 83. Les 300 foyers donnent donc lieu à une dépense de 250 francs, bien minime si on songe que l'on peut ainsi sauver tout ou partie d'une récolte de 30 hectares de vignes.

Voici déjà six ans que l'on produit par le moyen que nous venons d'indiquer, en mars et en avril des nuages artificiels, grâce auxquels on a pu préserver les vignes des gelées si fatales à cette époque de l'année.

XXIV. STÉRILISATION DE L'EAU PAR LA CHALEUR.

(*Système Rouart, Geneste et Herscher.*)

L'APPAREIL construit par MM. Rouart, Geneste et Herscher, dont nous allons indiquer le principe, a pour but de produire de l'eau bouillie, et par conséquent stérilisée, en quantité assez considérable et à assez bas prix, pour pouvoir alimenter une agglomération [1] n'ayant à sa disposition que de l'eau suspecte, en temps d'épidémie. Cet engin, qui peut rendre, comme on le voit, des services très importants, se compose, essentiellement d'une chaudière dont la vapeur actionne la pompe d'alimentation, et vient chauffer l'eau qu'il s'agit de stériliser.

Cette eau est introduite dans un cylindre bouilleur *A*, vu en coupe transversale sur la figure. Des tuyaux *t*, *t*...,

contenus dans ce cylindre et réunis entre eux, communiquent avec la chaudière, se remplissent par conséquent de vapeur et portent l'eau du cylindre à la température de 120° centigrades.[2] La vapeur retourne à la chaudière par le tuyau *T*. Quant à l'eau chauffée à 120°, elle se rend dans des serpentins *S* et *S'*, entourés d'eau froide impure qu'elle réchauffe en se refroidissant elle-même ; l'eau bouillie froide se rend enfin à un filtre *F*, d'où elle sort par l'orifice *O* prête à être consommée. En se refroidissant, l'eau stérilisée

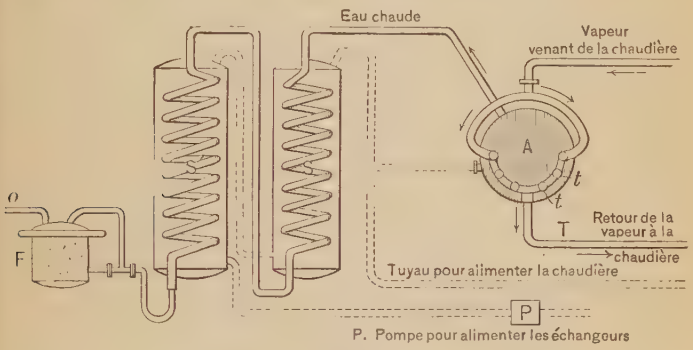


FIG 19

a cédé sa chaleur à l'eau froide impure, que la pompe *P* a refoulée dans les cylindres où sont contenus les serpentins ; cette eau, ainsi échauffée, sert à alimenter la chaudière et le bouilleur *A*.

La combinaison mécanique, dont la figure schématique[3] ci-dessus permet de bien comprendre le principe, est intéressante en ce que toute la chaleur dépensée pour stériliser l'eau est récupérée, et on comprend ainsi que le prix de cette opération soit fort minime, condition essentielle pour l'application que l'on avait en vue. Le litre revient à 1 ou 2 millimes. Tout l'appareil est porté sur un chariot, par conséquent facilement transportable.

XXV. LA CARBURATION DU FER.

COMMENT s'effectue la carburation du fer? Dans quelles conditions le carbone se combine-t-il avec le fer pour produire la fonte, le fer ou l'acier? Telle est la question que M. John Parry étudie dans le journal anglais *Nature*. On a prétendu que le carbone est difficilement soluble dans le fer, que cette solution s'effectue très lentement lorsque la température est peu élevée; on a observé que si l'on refroidit du fer préalablement très chargé de carbone à haute température, une partie de ce carbone se sépare, pour se dissoudre de nouveau dans le métal si on le réchauffe. On considère l'acier comme une solution diluée de carbone dans du fer, la fonte comme une solution saturée, et les autres métaux intermédiaires entre ces deux types de fers carburés comme des solutions plus ou moins concentrées.

Mais cette théorie peut être discutée. Étant donné que la carburation complète du fer exige une température élevée et que le carbone est absolument infusible, il paraît raisonnable de supposer que ces deux éléments doivent se combiner chimiquement. Ce composé peut avoir la propriété de dissoudre le carbone qu'on y ajoute, et c'est ce qui explique l'abondant dépôt de carbone sous forme de graphite qui se produit lorsqu'on refroidit le fer. Le Dr Percy, qui soutient cette théorie, admet donc qu'il existe un composé au moins, parfaitement défini, de carbone et de fer; mais il ajoute qu'il n'y a aucune raison pour que la solution ne puisse avoir lieu, ainsi que cela se produit pour le mercure qui dissout l'or, l'argent et le cuivre.

Le professeur Robert Austen parle également du pouvoir qu'ont certains métaux solides d'absorber, même rapidement, les fluides, ce qui est évidemment un cas de solution. Il dit que le fer porté à une certaine température se combine avec le carbone pur sous forme de poudre de diamant.

L'auteur de l'étude que nous analysons, M. J. Parry, a également réussi à combiner directement du fer fondu (dans le vide) avec du charbon de sucre, préalablement débarrassé de gaz, par des chauffages répétés dans le vide.

Tous ces faits peuvent s'expliquer par la théorie de la solution. Matthiesen, à la suite de longues et patientes recherches sur les propriétés des métaux, assure qu'à part de rares exceptions la plupart des alliages connus de deux métaux sont des solutions solidifiées d'un de ces métaux dans un autre. On peut donc regarder les alliages de fer et de carbone comme des solutions solidifiées de carbone dans le fer et l'analogie de la fonte avec les autres alliages indique la non-existence d'une combinaison chimique du fer et du carbone.

D'ailleurs, si on considère les alliages comme des combinaisons chimiques définies, il est difficile d'expliquer la propriété que possède le fer chauffé d'absorber certains gaz. Deville a cependant admis, dans ce but, l'existence d'une porosité intermoléculaire, en vertu de laquelle le gaz pourrait pénétrer dans le métal, à basse température, et qui serait développée par l'action de la chaleur.

Graham prétend que l'affinité des gaz pour le fer et le platine est due à une sorte d'attraction analogue à celle qui se produit entre un corps solide et son dissolvant.

D'autres métallurgistes sont d'avis que la combinaison du fer et du carbone se produit sous l'influence du protoxyde de carbone ; mais cette opinion doit être écartée, du moment qu'il a été prouvé que le carbone se combine directement avec le fer soit par solution, soit par combinaison chimique.

Quoi qu'il en soit, sir Bell nous apprend qu'en chauffant de minces feuilles de métal carburé ou d'acier, entassées les unes sur les autres, l'excès de carbone contenu dans une ou plusieurs de ces feuilles passe dans les autres. Le fer forgé peut être carburé à peu près de la même façon par le

procédé de la cémentation, et il est possible qu'en chauffant du fer contenant un mélange de carbone et de graphite, on arriverait à répartir ce carbone uniformément dans toute la masse du métal. Il existe sûrement dans un acier une certaine proportion de carbone intimement uni avec le fer, et c'est cette proportion qui détermine les qualités particulières de l'acier. Il paraît donc à peu près évident que la carburation du fer résulte d'une dissolution de carbone dans le métal et que la quantité dissoute dépend de la température.

M. J. Parry pense que la théorie gazeuse ou plutôt physique de la solution peut s'appliquer au cas considéré. Cette théorie jette d'ailleurs un jour nouveau sur certains phénomènes dont l'explication est incomplète avec le secours de la théorie chimique de la solution.

XXVI. CHAUFFERETTES A LA CHAUX.

On connaît les propriétés de l'acétate de soude. Ce sel, étant fondu par l'action de la chaleur et abandonné à lui-même, se cristallise en dégageant progressivement le calorique qu'on lui avait communiqué pour amener sa fusion. On a mis à profit ce phénomène pour constituer des chaufferettes employées au chauffage des voitures, omnibus, tramways, compartiments de chemins de fer, etc. On peut employer dans le même but des substances qui, en se combinant produisent un dégagement de calorique, et en particulier la chaux grasse, qui, en s'hydratant, donne une quantité de chaleur assez considérable. Ainsi, d'après M. Berthelot, 28 grammes de chaux vive donnent, en se changeant en chaux éteinte, 9 calories, ce qui fait 320 calories par kilogr. de chaux vive. (On sait que la calorie

est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température d'un kilogramme d'eau.) D'après M. Soulier, 1 kilogramme d'eau et 1^k, 5^l de chaux grasse, dégagent 84 calories par kilogr. de mélange, soit 140 calories par kilogr. de chaux. L'action chimique de l'hydratation de la chaux vive ne présente aucun danger, quand elle se produit en vase clos, et la température produite est insuffisante pour enflammer les matières même les plus combustibles, placées dans le voisinage. On conçoit donc qu'on puisse constituer une chaufferette fort commode en

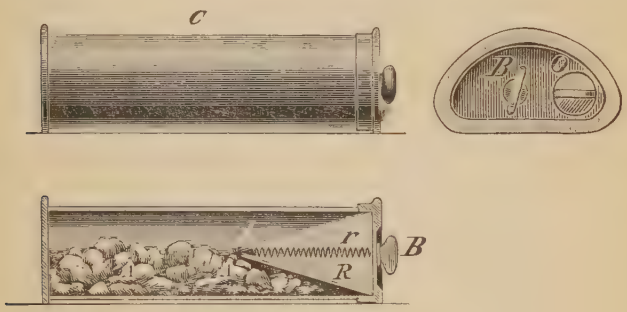


FIG. 20.

la remplissant de chaux vive, et en y introduisant l'eau nécessaire à l'hydratation au moment même où on désire obtenir de la chaleur, ce qui est une amélioration notable apportée[2] aux chaufferettes à acétate, qui dégagent leur chaleur immédiatement après la fusion du sel.

M. Loison de Viviers, qui a eu l'idée d'employer la chaux vive à l'usage que nous venons d'indiquer, constitue sa chaufferette comme le montrent les croquis ci-dessus. Dans un cylindre aplati, en métal *C*, ayant la forme ordinaire des bouillottes à eau chaude, on introduit de la chaux vive en morceau *AA*. Dans ce même cylindre est ménagé[3] un réservoir *R* en forme de cône, que l'on remplit d'eau

par une ouverture *O*. L'extrémité du cône, qui est percée, est bouchée par un bouchon *b*, qu'un ressort à boudin *r* maintient appliqué[4] contre l'ouverture. Ce bouchon est armé d'une tige *r* terminée par un bouton *B*. Il est facile de comprendre que, dans ces conditions, la chaux vive est prête à servir. Quand on veut obtenir de la chaleur, il suffit, en effet, de tirer le bouton *B*, ce qui a pour effet de déboucher l'ouverture du cône ; l'eau du réservoir *R* passe alors dans le deuxième compartiment où se trouve la chaux, cette dernière s'hydrate, et, la combinaison s'effectuant, la chaleur se dégage. La température de la bouillotte peut atteindre 100° centigrades, et être maintenue à cette température pendant un laps de temps variable suivant les dimensions de l'appareil, et les réserves d'eau et de chaux. Il est évident que cette nouvelle chaufferette, à *chaleur différé*, est appelée à rendre d'importants services.

XXVII. CURSOMÈTRE ÉLECTRIQUE.

Une nouvelle application de l'électricité, qu'il nous semble intéressant de signaler, est celle que M. Edme[4] Genglaire a imaginée pour améliorer le podomètre.

Le *podomètre* consiste essentiellement, comme on sait, en un petit pendule suspendu dans une boîte de volume assez restreint pour qu'on puisse la mettre dans une poche de vêtement. Pendant la marche, ce petit pendule reproduit le balancement du corps, et grâce à un système mécanique, il est facile d'enregistrer le nombre des oscillations pendulaires, par suite le nombre de pas effectués par le marcheur, et il ne reste plus qu'à multiplier ce nombre par la longueur moyenne du pas pour obtenir une évaluation de la longueur du chemin parcouru.[1] Malheureusement les oscillations du pendule ne suivent pas toujours le mouvement de la marche.

Ainsi, dans une course de vitesse forcée,[2] le corps penché en avant n'éprouve plus d'oscillations, tandis que, lorsqu'on vient à ralentir sa marche, le pendule en vertu de sa vitesse acquise va trop vite. Dans ces deux cas les indications de l'instrument sont fausses.

M. Genglaire a pensé qu'on pouvait éviter ces causes d'erreur en substituant au principe du balancement celui de la pression; et, puisque c'est le pied qui détermine la vitesse et la longueur d'une marche, il place dans le creux du soulier, entre la semelle et le talon, une petite lame mince, venant au contact d'une plaquette de cuivre, fixée à la semelle, lorsque le soulier s'appuie sur le sol. La figure montre comment ce petit mécanisme doit être disposé: *AB* est la lame mince fixée par un ressort d'acier et des crampons au talon; *C* représente la plaquette de cuivre fixée à la semelle. Durant la marche, les lames *A* et *C* sont alternativement en communication et séparées. Ceci posé,[3] le ressort *AB* étant relié au pôle positif d'une pile sèche et la plaque *C* au pôle négatif de cette même pile, on comprend que chaque contact se produisant entre *A* et *C* donne lieu à une émission de courant qui arrivant dans le podomètre a pour organe principal un électro-aimant attirant, à chaque émission de courant, une petite armature en fer qui est ramenée à sa position première par un ressort dès que le courant cesse. Les allées et venues de l'armature engendrent un mouvement de rotation d'une roue dentée, laquelle actionne deux autres roues, l'une indiquant les unités de pas, l'autre les centaines et les mille.

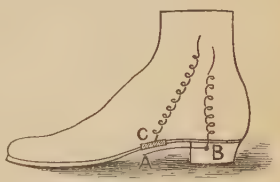


FIG. 21. — Soulier muni du cursomètre Glengaire.

Chaque expérimentateur détermine la longueur de son pas moyen, et, connaissant le nombre de pas effectués par la

simple lecture des indications de l'appareil, peut facilement calculer le chemin parcouru.

M. Genglaire a prévu le cas où l'humidité établirait un contact permanent ou irrégulier des plaques métalliques du soulier ; il les remplace alors par une poire minuscule de caoutchouc gonflée d'air. Chaque pas détermine une pression, un rapprochement des deux membranes de cuivre appliqués contre le soulier et reliées au podomètre par un tube de caoutchouc d'un demi-centimètre de diamètre, gaine protectrice d'un fil de cuivre et dissimulé dans les vêtements.

Enfin, on peut appliquer le même appareil au comptage du nombre de tours de roues d'un véhicule. Il suffit de fixer une plaquette métallique à la jante de la roue ; cette plaquette frotte, à chaque tour de roue, contre un contact de cuivre et on a ainsi un enregistreur d'une précision mathématique. L'appareil de M. Genglaire est évidemment susceptible de rendre des services et méritait par conséquent d'être signalé.

XXVIII. UN YACHT EN ALUMINIUM.[1]

Les ateliers de MM. Escher, Wyss et C^ie^ de Zurich ont construit une embarcation en aluminium, avec moteur à pétrole, et ils viennent de terminer un yacht en même métal qui est destiné à naviguer sur les eaux de la Seine. Le bateau qui mesure $10^{m},11$ de longueur,[2] $1^{m},80$ de largeur maximum, $0^{m},88$ de creux,[3] et qui a un tirant d'eau de, $0^{m},67$, ne pèse pas plus de 1500 kilogrammes : aussi est-il facile de le transporter sur un chariot. Les tôles d'aluminium employées à la construction de sa coque ont de $2^{mm},5$ à 5^{mm} d'épaisseur ; elles sont assemblées, par rivure, au moyen de rivets de même métal. Le moteur à pétrole est à[4] trois cylindres à simple action. Tous les organes moteurs,[5] y compris le

propulseur sont également en aluminium, à l'exception, bien entendu, des arbres coudés et des manivelles. Le moteur est placé dans une caisse complètement fermée ; son générateur, disposé au-dessous de la boîte à vapeur du moteur, se compose de tubes en cuivre enroulés en serpentin.[6] Enfin la vitesse de marche dépasse 13 kilomètres à l'heure, avec une dépense de 8 kilogrammes de pétrole. La puissance du moteur est de 6 chevaux. L'aluminium est-il destiné à trouver dans la construction des yachts de plaisance un débouché que les producteurs de ce métal cherchent ardemment depuis que les nouvelles méthodes électrolytiques ont permis sa fabrication à des prix relativement très bas? C'est ce que l'avenir apprendra. En tout cas, il était intéressant de signaler la tentative et de donner les renseignements qui précèdent à ceux qui verront prochainement ce nouveau bateau sillonner la Seine.

XXIX. LE PAVAGE EN BOIS.

Le pavage en bois se substitue progressivement à Paris, au pavage en grès ou en granit, au grand avantage de la population, qui est ainsi débarrassée du bruit insupportable

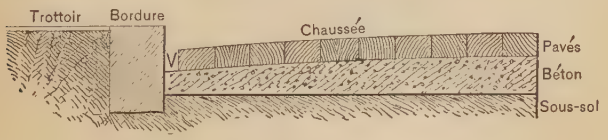


Fig. 22.

causé par l'énorme circulation des voitures dans les voies très fréquentées. C'est à peine si cette circulation s'arrête pendant une ou deux heures, la nuit, et tous ceux qui ont habité les rues Lafayette, de Châteaudun, etc., savent quelle

fatigue de tête on éprouve au bout de peu de temps. Puisque la question intéresse à peu près tout le monde, on ne sera pas fâché d'avoir quelques détails sur le mode de construction et le prix de revient du pavage en bois.

Pour qu'un pavage en bois soit durable, il faut établir les fondations avec grand soin et bien poser les blocs ou pavés de bois. La fondation (Fig. 22), faite en béton, doit avoir une épaisseur de $0^m,15$; on fabrique le béton avec 150 à 200 kilogrammes de ciment Portland par mètre cube qu'on mélange avec des cailloux et du sable dans la proportion de $\frac{2}{3}$ pour les premiers et de $\frac{1}{3}$ pour le deuxième. Quand le

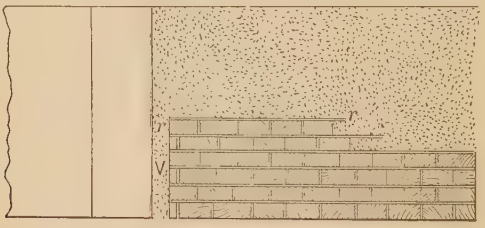


FIG. 23. — Plan.

béton est pris, on le recouvre d'un enduit de $0^m,01$ d'épaisseur formé de béton dosé à 300 kilogrammes de ciment par mètre cube. On laisse sécher pendant deux ou trois jours et quand la surface a pris une solidité suffisante pour qu'on y puisse poser les pavés sans crainte qu'ils ne s'enfoncent, on trace au cordeau la position des lignes de blocs de bois, on aligne ces derniers jointivement dans le sens de la largeur et on les sépare, dans le sens de la longueur, d'un rang à l'autre, par une réglette *r* (Fig. 23), laissant un vide de $0^m,008$ à $0^m,010$ que l'on remplit d'un béton ayant même composition que l'enduit. Ce béton un peu liquide est introduit dans les rainures au moyen de balais ; enfin, deux à trois jours après la pose on répand sur le pavé une couche

de $0^m,02$ d'épaisseur au moins de gravillons de porphyre concassé qui, sous l'action des roues des véhicules, s'incrustent dans le bois.

Il faut tenir compte de la dilatation du bois ; c'est pour cette raison que dans les chaussées de moyenne largeur on

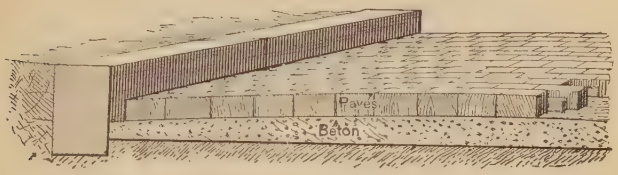


FIG. 24. — Vue perspective.

laisse un vide *V*, de $0^m,05$ à $0^m,06$, contre les bordures de trottoirs (Figs. 22, 23, 24), vide que l'on remplit ensuite de sable. Quand le pavage se fait sur des chaussées très larges, on dispose deux rangs de plus de pavés parallèles aux bordures, en laissant toujours un vide de $0^m,04$ à $0^m,05$

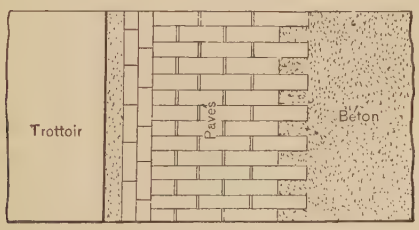


FIG. 25. — Plan.

entre les pavés et le trottoir, et on recoupe les pavés jusqu'à ce que l'effet de la dilatation se soit complètement produit (Fig. 25). Sur des chaussées de 40 mètres de largeur on observe une dilatation de $0^m,40$ en quinze jours, au mois d'août et avec des pavés très secs.

On emploie à Paris des pavés de $0^m,15$ de hauteur, de $0^m,08$ de largeur et $0^m,22$ de longueur, en pin des Landes[1] et en sapin du Nord.

Avec le premier de ce bois, le prix de revient du mètre carré de pavage s'élève à 16 fr. 21, se décomposant comme suit :

Fournitures de cinquante pavés rendus à pied d'œuvre[2]	10 fr. 70
Exécution du pavage	5 fr. 11
Amortissement de l'usine où les bois sont débités et créosotés	0 fr. 40

Le prix de revient du pavage en bois a varié, dans le VIII^e arrondissement de Paris, de 14 fr. 71 à 16 fr. 48 avec le pin des Landes, de 18 fr. 44 avec le sapin du Nord à 22 francs avec le pitch-pin.

On peut admettre une durée de sept à huit ans pour le pavage en bois des chaussées de Paris soumises à une grande circulation et de douze à quinze ans pour les voies modérément passagères.[3]

XXX. BOUÉE SONORE AUTOMATIQUE.

Nous trouvons dans le compte rendu d'une excursion faite en Hollande par M. Lippmann, et présenté à la Société des ingénieurs civils, quelques détails intéressants sur le fonctionnement d'une bouée sonore automatique. Cette bouée, d'un système vraiment original, est encore très rarement employée ; il nous paraît intéressant d'en rappeler le principe et d'en montrer l'utilité.

On sait que les services des phares et balises des différents pays cherchent des moyens faciles et sûrs de signaler pendant le jour, et surtout par temps de brume, les divers écueils ou bancs à éviter. L'appareil ordinairement en

usage consiste simplement dans la balise classique, qui affecte la forme d'un cône, d'un corps flottant quelconque ou d'une tour en maçonnerie s'élevant plus ou moins au-dessus de l'eau ; quelquefois, comme pour certaines balises flottantes de l'entrée de la Gironde[1] ou pour la Tour Richelieu de l'entrée du port de La Rochelle,[2] la balise porte une cloche qui se met en branle sous l'influence de la lame, ou qui vient frapper un battant rattaché à un flotteur oscillant. L'appareil dont nous voulons parler est fondé sur un tout autre principe. D'invention américaine, dû à M. Courtenay, il est mouillé à 5 kilomètres au large des jetées du port d'Ymuiden, à l'entrée du canal de la mer du Nord à Amsterdam, et il sert à atterrir en cas de brume.

Cet appareil se compose essentiellement d'un tube ouvert à ses deux extrémités, disposé pour flotter, immergé verticalement, et fixé au fond de la mer par des ancres affourchées qui le maintiennent plongé à 4 ou 5 mètres au-dessous du niveau superficiel de l'eau. A cette profondeur, le mouvement de la lame ne se fait plus sentir ; l'eau du fond du tube y est immobile comme dans un puits, tandis que la mer déferle autour de la partie supérieure du tuyau. Un long cylindre creux, fermé en haut et en bas, se meut à la façon d'un piston dans l'intérieur du tube, refoulant l'air qui peut être à la partie inférieure de ce tube ; il est fixé par le haut à une bouée flottante, à un flotteur dont il est solidaire,[3] et qui lui fait suivre les mouvements de descente et de montée de la vague. Les deux fonds du cylindre-piston portent des soupapes combinées, de sorte qu'à chaque soulèvement l'air est appelé du dehors entre le piston et l'eau calme du fond du tube, et qu'à chaque descente l'air introduit au-dessus de ce niveau fixe est refoulé à travers un sifflet disposé au sommet de la bouée.

Bien entendu, le poids de la bouée est un facteur d'intensité pour le son du sifflet. Les intervalles entre les coups

de sifflet sont inversement proportionnels à la hauteur des vagues : l'instrument se fait entendre, par exemple, quatre fois par minute pour des lames de 6 mètres, qui déferlent au nombre de quatre dans cet espace de temps, et huit fois pour des lames de 3 mètres. L'appareil est depuis assez longtemps en service, et l'on n'a qu'à s'en louer : le sifflet s'entend jusqu'à 9 milles sous le vent, à 6 milles vent de travers et à 3 milles au vent, ce qui est considérable.

XXXI. HAUTES TEMPÉRATURES.

Désirant obtenir une température supérieure à 2000°, température que l'on produit à l'aide du chalumeau à oxygène de Sainte-Claire Deville, M. Moissan a songé à utiliser la chaleur fournie par l'arc électrique. Le four qu'il emploie est formé par deux briques de chaux vive ou de magnésie calcinée ; ces briques sont posées l'une sur l'autre, une petite cavité creusée dans la brique inférieure constitue le creuset, un espace est ménagé pour les électrodes ; enfin, un trou percé dans la brique supérieure, permet de jeter les mélanges dans ce four remarquable par sa simplicité.

A l'aide d'une petite machine Edison actionnée par une machine à gaz de 4 chevaux, M. Moissan a obtenu une température de 2250°. Une machine à gaz de 8 chevaux a permis d'atteindre 2500°. Avec une force de 50 chevaux, il est arrivé au chiffre de 3000°. A la température de 2250°, le sesquioxyde de chrome et l'oxyde magnétique de fer sont fondus rapidement. A 2500°, la chaux, la strontiane, la magnésie cristallisent en quelques minutes ; les oxydes de nickel, de cobalt, de manganèse, de chrome sont réduits par le charbon en quelques instants. A 3000°, la chaux vive qui constitue le four fond et s'écoule ; l'oxyde d'uranium est réduit de suite ; le charbon réduit rapidement

l'oxyde de calcium, et le métal se dégage et se combine aux charbons des électrodes. C'est à la suite de ces recherches, et en faisant intervenir la forte pression produite par l'augmentation de volume d'une masse de fonte liquide au moment de sa solidification, que M. Moissan a pu effectuer la reproduction artificielle du diamant. Du charbon de sucre comprimé dans un cylindre de fer est mis au four dans un bain liquide de fer doux ; retiré du creuset, le culot obtenu est attaqué par l'acide chlorhydrique bouillant, le noyau charbonneux qui reste subit ensuite différents traitements. Le résidu est alors lavé, séché et séparé par le bromoforme. Les fragments de diamant noir (*carbonado*) isolés ont un aspect chagriné ; les fragments transparents portent des stries parallèles et aussi des impressions triangulaires. En utilisant l'argent pour la confection des culots, M. Moissan a augmenté le rendement en carbonado.

¶ Il est indispensable, au cours de ces expériences, d'éviter autant que possible l'action prolongée de la lumière électrique sur le visage, car les "coups de soleil" sont fréquents. Cette précaution, déjà utile avec les courants de 30 ampères 50 volts qui ont donné 2250°, est d'autant plus indispensable quand l'arc mesure les 450 ampères 70 volts nécessaires pour produire 3000°.

XXXII. LE BASSIN DE PATINAGE "LE PÔLE NORD" A PARIS.

Il y a environ trois ans, on avait cherché à recouvrir l'immense piste de 2000 mètres de la Plaza de Toros[1] d'une couche uniforme de glace pour permettre aux nombreux amateurs de patiner en tout temps sur la glace véritable, mais l'entreprise échoua faute d'avoir pris les précautions nécessaires pour maintenir l'étanchéité du sol. Il n'en a

pas été de même pour la nouvelle tentative faite dans l'ancien Casino de Paris.[2] Cette fois l'essai a parfaitement réussi, et les patineurs possèdent maintenant une piste irréprochable. Il est donc intéressant de décrire ici par quels procédés on peut maintenir à l'état de glace un volume d'eau qui atteint 8000 mètres cubes.

La piste consiste en une sole de ciment et de briques en liège goudronné, surmontée d'une aire en plomb imperméable de 40 mètres de longueur sur 18 mètres de largeur. Sur cette aire s'étend un réseau de tuyaux en fer de 4000 mètres de longueur totale alimentés par deux conduites principales, l'une d'allée,[3] l'autre de retour,[4] et dans toute cette canalisation circule une dissolution de chlorure de

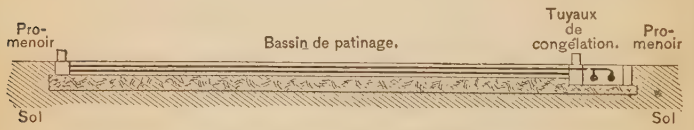


FIG. 26. — Coupe transversale du Bassin de patinage du "Pôle Nord."

calcium incongelable, refroidie par des machines frigorifiques. Ces dernières sont actionnées par deux moteurs à vapeur de 50 chevaux de force ; elles fonctionnent par une circulation de gaz ammoniac, toujours le même, refoulé par les pompes de compression dans les tuyaux sous une pression de 9,5 kil.[5] environ. Ce gaz est envoyé de là dans des condenseurs liquéfacteurs refroidis par l'eau de la Ville. C'est alors qu'il vient se liquéfier dans les récipients ; en allant se détendre ensuite dans les réfrigérants, l'ammoniac produit l'abaissement de température nécessaire au refroidissement de la solution de chlorure de calcium qui circule sous la piste. Des réfrigérants, l'ammoniac est repris par les compresseurs, qui l'aspirent à la pression de 1,5 kil. environ.

L'installation se distingue par une grande simplicité, et elle fonctionne avec une parfaite régularité, puisque, malgré

la température de 15° au-dessus de 0°.6 qui est maintenue dans la salle par des calorifères, on peut congeler, dans l'espace de quarante-huit heures seulement, les 8000 mètres cubes d'eau que contient le bassin constituant la piste de patinage.

Après chaque séance de patinage, on enlève la neige produite par les patins et on étend sur toute la surface de la piste une nappe d'eau qui est transformée en une couche de glace parfaitement unie.

XXXIII. CORPS SIMPLES ET CORPS COMPOSÉS.

Pour nous faire une idée exacte des procédés qu'emploient les chimistes pour déterminer la nature d'une matière soumise à leur étude, et pour reconnaître du même coup où s'arrête la puissance de l'analyse chimique, supposons qu'il nous faille analyser une poudre bleue dont nous ignorons absolument la nature. — Pour commencer nos opérations, plaçons-la dans une cornue munie d'un tube courbé, aboutissant au-dessous d'une grande fiole remplie d'eau.

L'appareil ainsi disposé nous permettra de recueillir les gaz qui pourront se dégager, et les produits solides resteront dans la cornue. Si cette poudre est décomposable par la chaleur, si elle abandonne un gaz lorsqu'on la soumet à l'action du feu, nous sommes bien certains de ne laisser échapper aucun des produits que nous en extrairons.

Nous chauffons, notre fiole se remplit bientôt d'un gaz incolore ; poussons jusqu'au bout la décomposition, et chauffons jusqu'à ce que le gaz cesse de se dégager ; cassons à ce moment notre cornue, elle ne renferme plus qu'une poudre noire, tandis que nous avons rempli de gaz plusieurs cloches.

Transvasons dans une éprouvette une petite quantité de ce gaz, voyons comment il se comporte sous l'action du feu ;

une allumette en ignition s'y éteint. Nous y versons de l'eau de chaux qui y forme un abondant précipité. Ce gaz est l'acide carbonique.

Ainsi par l'action de la chaleur nous avons analysé la poudre bleue, nous l'avons séparée en deux corps distincts, l'acide carbonique et une poudre noire dont la nature nous est inconnue.

Pouvons-nous décomposer encore ces deux produits? pouvons-nous analyser la poudre noire? pouvons-nous analyser l'acide carbonique?

Rien n'est plus simple.

Commençons d'abord par la poudre noire.

Nous l'emprisonnons dans un petit tube de verre que nous chauffons au-dessus d'une flamme ; ce tube est traversé par un courant d'hydrogène, et il aboutit à un petit récipient maintenu froid. Notre récipient, qui était parfaitement sec, se remplit de gouttelettes liquides, et notre poudre noire se transforme en une poudre rouge. Chauffons une petite quantité de cette poudre rouge au chalumeau, elle fond ; frappée, elle s'aplatit et nous reconnaissons le métal rouge : le cuivre.

Le liquide contenu dans notre récipient n'est ni acide, ni basique, il n'a pas de saveur. C'est de l'eau. Or l'eau est formée d'oxygène et d'hydrogène : nous avons fait passer de l'hydrogène sur la poudre noire, et celle-ci a évidemment fourni l'oxygène. Nous pouvons donc conclure que cette poudre noire était formée d'oxygène actuellement contenu dans l'eau et de cuivre métallique.

Décomposons à présent notre gaz acide carbonique ; pour y réussir, plongeons dans un des flacons remplis de gaz pendant l'expérience un fragment de sodium allumé. Le métal brûle, ainsi que nous l'avons vu déjà, et il se forme sur le têt qui portait le métal un dépôt noir.

Le sodium est maintenant très basique, comme l'indique un papier rouge de tournesol qui bleuit à son contact ; il

s'est transformé en soude ou oxyde de sodium, et par conséquent s'est combiné à l'oxygène. L'acide carbonique renfermait donc de l'oxygène. Quant à la poudre noire déposée sur le têt, il suffit de la chauffer pour la voir brûler, puis disparaître, c'est du charbon.

Ainsi la poudre bleue soumise à notre essai était du carbonate de cuivre ; chauffée, elle s'est séparée en deux produits, l'acide carbonique et l'oxyde de cuivre. De l'oxyde de cuivre nous avons extrait du cuivre métallique et de l'oxygène. Nous avons enfin dédoublé encore l'acide carbonique en charbon et en oxygène.

En définitive, l'analyse nous a permis de retirer de cette poudre bleue trois corps distincts : le charbon, l'oxygène, le cuivre ; mais nous sommes arrivés à présent à la limite de sa puissance.

Nous tenterions en vain de dédoubler le charbon, l'oxygène et le cuivre ; c'est en vain que nous les chaufferions dans le feu le plus intense ; c'est en vain que nous les soumettrions à un courant électrique puissant. Nous pourrons engager ces corps dans une foule de combinaisons, mais jamais nous ne retirerons du cuivre autre chose que du cuivre, de l'oxygène autre chose que de l'oxygène, du charbon autre chose que du charbon.

La puissance de l'analyse chimique n'est pas infinie. En dédoublant ainsi tous les corps que nous offre la nature, vivants ou inanimés, débris de végétaux ou d'animaux, roches, pierres, minerais, etc., elle en sépare des produits différents, des principes distincts. Ces principes se dédoublent encore en d'autres composés qui peuvent quelquefois se séparer encore ; mais elle arrive toujours à des corps comme l'oxygène, le carbone ou le cuivre, sur lesquels elle est sans action.

Les substances qui résistent à tous nos moyens d'action sont dites corps indécomposables, ou encore corps simples.

On remarquera toutefois que le premier terme est préférable, car il indique seulement le point où nous sommes arrivés, mais ne proclame pas que ce que nous n'avons pas fait encore est pour toujours infaisable. Nous connaissons aujourd'hui soixante-six corps simples, et il est possible qu'il en existe un plus grand nombre ; si quelques-uns d'entre eux sont, en effet, employés depuis des siècles, il en est d'autres, au contraire, qui ont été découverts récemment. C'est Priestley qui a obtenu l'oxygène en 1774, Scheele a préparé le chlore la même année, Cavendish avait obtenu l'hydrogène dès 1766 ; les métaux usuels, il est vrai sont connus depuis l'antiquité la plus reculée, mais le potassium et le sodium n'ont été obtenus qu'en 1807 par Sir H. Davy ; c'est en employant ces nouveaux métaux que M. Woehler a obtenu l'aluminium en 1827, et M. Bussy le magnésium en 1830 ; enfin, en 1860 deux savants d'Heidelberg, MM. Bunsen et Kirchhoff, ont donné une méthode d'analyse si précise, qu'elle a permis, depuis cette époque, de caractériser quatre métaux nouveaux.

On distingue généralement les corps simples en deux classes, les corps non métalliques et les métaux.

XXXIV. LISTE DES CORPS SIMPLES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

Corps Simples non Métalliques.

Arsenic. Azote. Bore. Brome. Carbone. Chlore. Fluor. Hydrogène. Iode. Oxygène. Phosphore. Sélénium. Silicium. Soufre. Tellure.

Corps Simples Metalliques.

Aluminium. Antimoine. Argent. Baryum. Bismuth. Cadmium. Calcium. Coesium. Cérium. Chrome. Cobalt. Cuivre.

Dydyme. Erbium. Étain. Fer. Glucinium. Ilménium. Indium. Iridium. Lanthane. Lithium. Magnésium. Manganèse. Mercure. Molybdène. Nickel. Niobium. Or. Osmium. Palladium. Pélopium. Platine. Plomb. Potassium. Rhodium. Rubidium. Ruthénium. Sodium. Strontium. Tantale. Terbium. Thalium. Thorium. Titane. Tungestène. Uranium. Vanadium. Yttrium. Zinc. Zirconium.

Arrivée aux corps simples, l'analyse s'arrête, mais le rôle de la synthèse commence ; il faut maintenant que le chimiste reprenne ces corps simples, ces éléments, trouve les conditions dans lesquelles ils peuvent s'unir pour produire des corps plus complexes, et arrive soit à reproduire les substances naturelles, soit à faire des êtres nouveaux, dont la nature n'avait offert jusqu'alors aucun exemple. La chimie, en effet, a une puissance de création qui n'appartient qu'à elle, et qui la distingue nettement de toutes les autres sciences naturelles ; elle seule est capable, par un judicieux emploi de l'affinité, de procéder à de véritables créations d'espèces nouvelles.

Nous avons donné tout à l'heure un exemple d'analyse en décomposant le carbonate de cuivre, en cuivre, oxygène et carbone ; nous pouvons maintenant donner un exemple de synthèse en unissant le charbon à l'oxygène pour produire l'acide carbonique, le cuivre à l'oxygène pour faire l'oxyde de cuivre ; enfin il est aisé d'obtenir la combinaison de l'oxyde de cuivre et de l'acide carbonique pour obtenir de nouveau le carbonate d'oxyde de cuivre.

Prenons donc le cuivre métallique, chauffons-le à présent dans un petit vase de terre au contact de l'air ; le métal se couvre d'abord de brillantes irisations, puis noircit ; sous l'action de la chaleur, il se combine à l'oxygène de l'air. Quand l'expérience est terminée, nous avons de l'oxyde de cuivre, obtenu au moyen du cuivre métallique et de l'oxygène de l'air. Nous venons de réaliser ainsi une première synthèse.

Brûlons d'autre part du charbon à l'air, nous obtenons de l'acide carbonique, et il ne nous reste plus qu'à réunir l'acide carbonique à l'oxyde de cuivre pour obtenir le carbonate de cuivre. Mais ici la combinaison ne se fait plus aussi simplement, et il nous faut prendre une méthode détournée, car l'acide carbonique sec ne se combinerait pas directement à l'oxyde de cuivre pur. Voici cette méthode : commençons par combiner l'acide carbonique à la soude, nous aurons du carbonate de soude ; dissolvons d'autre part l'oxyde de cuivre dans l'acide azotique, nous aurons amené nos deux matières à un état convenable pour que la combinaison puisse s'effectuer ; si maintenant, en effet, nous versons le carbonate de soude dans la liqueur bleue où se trouve l'oxyde de cuivre, nous obtiendrons un précipité bleu qui nous représentera le carbonate de cuivre primitif. Nous avons ici parcouru le cercle entier, et nous revenons à notre point de départ ; les éléments séparés par l'analyse, puis combinés de nouveau, ont reproduit la matière primitive. Cet exemple démontre que le chimiste n'est pas toujours armé de méthodes générales qui le conduisent forcément à réussir l'analyse ou la synthèse d'une substance déterminée, mais qu'un champ très vaste est laissé à sa sagacité et à la connaissance qu'il doit avoir des conditions dans lesquelles les corps peuvent se combiner.

Il arrive souvent, au reste, que les réactions sont plus compliquées que ne semble l'indiquer la décomposition du carbonate de cuivre, car l'analyse d'un corps peut être accompagnée de la synthèse d'une autre matière, et une des expériences que nous connaissons le mieux nous offre un exemple de ces deux opérations simultanées : lorsque nous préparons l'hydrogène, nous faisons de l'eau, nous la décomposons en ses éléments, mais du même coup nous faisons la synthèse du sulfate d'oxyde de zinc.

Versons dans un verre de l'eau, ajoutons-y des grenailles

de zinc, et enfin de l'acide sulfurique, aussitôt une vive effervescence se déclare ; le gaz qui se dégage est de l'hydrogène, car, lorsqu'on approche une allumette, il brûle, une légère détonation se fait entendre, et la flamme est teintée en jaune. L'autre élément de l'eau, l'oxygène, s'est combiné au zinc pour former l'oxyde de zinc, qui s'unit enfin à l'acide sulfurique et donne un produit ternaire, un sel, le sulfate d'oxyde de zinc.

Il suffit, pour le prouver, d'évaporer le liquide contenu dans le verre : on ne tarde pas à voir apparaître par le refroidissement de fines aiguilles de sulfate de zinc.

S'il n'existe sur la terre que soixante-six matières que le chimiste soit impuissant à décomposer, si tous les autres corps cèdent à la puissance de l'analyse, la synthèse n'est pas aussi bien partagée,[1] il est nombre de substances que nous ne savons pas encore préparer, et d'autres même que la chimie sera vraisemblablement toujours impuissante à reproduire. Pendant longtemps on n'a pas réussi à préparer les substances minérales cristallisées qui existent dans les filons qui pénètrent l'écorce du globe ; aujourd'hui, grâce aux travaux de deux savants français, morts récemment, Ebelmen et de Sénarmont, grâce aussi aux recherches de MM. Daubrée, H. Sainte-Claire Deville et Debray, il est possible de reproduire presque tous les minéraux et toutes les roches avec leurs formes naturelles ; on sait toutefois qu'il a été encore impossible d'obtenir le diamant, c'est-à-dire le carbone cristallisé ; bien des chercheurs s'y sont essayés cependant, et il n'est pas difficile de comprendre les motifs qui les poussaient à entreprendre des essais dont la réussite eût été si fructueuse. Nous avons vu comment on pouvait obtenir les corps à l'état cristallisé : pour permettre aux molécules de s'agréger régulièrement, il faut les mettre en quelque sorte en liberté par la fusion, la dissolution ou la sublimation ; or, le charbon est complètement

infusible, il n'est pas volatil, et enfin il ne se dissout que dans le fer fondu. Quand on met en fusion la fonte au contact du charbon, et qu'on laisse refroidir, on obtient, non pas le diamant, mais le graphite, c'est-à-dire une matière semblable à celle qui est employée à la confection de nos crayons dits de mine de plomb. Il ne faudrait pas croire, toutefois, que les chimistes n'aient aucune espérance de reproduire artificiellement le diamant, ce n'est pas là un problème qu'ils considèrent comme insoluble, et un hasard heureux, ou mieux, un travail acharné peut au premier jour[2] amener la réussite.

Quand il s'agit de reproduire par la synthèse, non plus les matières minérales, mais les substances qu'on rencontre dans les tissus des êtres vivants, on rencontre de telles difficultés, qu'on a cru pendant longtemps qu'il serait toujours impossible de les vaincre, mais les travaux remarquables de M. Berthelot ont montré récemment, au contraire, qu'il était possible de préparer artificiellement un certain nombre de matières sécrétées par les êtres vivants ; il a réalisé quelques-unes de ces synthèses, et notamment celle de l'acide formique qui existe dans les fourmis, et qui donne aux orties la propriété corrosive qui les distingue ; on conçoit même la possibilité d'arriver dans un avenir plus ou moins prochain à préparer le sucre, les corps gras, les principes toxiques et médicamenteux qui se trouvent dans les végétaux, mais pour quelques autres matières l'espérance même est interdite.

Ainsi il est certain que les forces chimiques, si habilement mises en jeu qu'elles soient, seront toujours incapables de faire une cellule, un vaisseau, une fibre, et d'une façon générale toutes les matières organisées : produites sous l'influence de la vie, elles ne paraissent pas pouvoir naître sans elle.

Si donc le chimiste est capable de reproduire un certain nombre de substances naturelles ou artificielles, si même il

possède la curieuse puissance de créer des espèces nouvelles, en plaçant des substances données dans des conditions telles que la nature ne les présente pas habituellement, la puissance de la science est cependant limitée ; si elle peut préparer avec les corps simples des substances organiques naturelles, ou même en créer de nouvelles, elle ne saura probablement jamais reproduire des matières organisées.

XXXV. MACHINES A VAPEUR.

Toujours semblables dans leur principe, les machines à vapeur, *les machines à feu*, comme on les appela longtemps, offrent des variétés infinies dans leur forme, dans la disposition de leurs organes, dans les détails de leur mécanisme.

Le trait qu'on y rencontre généralement, et qui est en quelque sorte leur signalement aux yeux les moins exercés, c'est un cylindre dans lequel glisse un piston sur les faces duquel la vapeur vient exercer sa pression.

Ce piston est animé d'un mouvement de va-et-vient qui, de proche en proche, communique une vie factice et une force réelle à tous les organes appelés à remplir une fonction, qui viennent se grouper autour du cylindre d'après des lois à peu près invariables.

En effet, quel que soit le travail auquel on destine une machine, elle rentre forcément dans un des types, en assez petit nombre, qui sont maintenant partout adoptés pour la construction des machines à vapeur.

L'exposition universelle de 1867 a permis de s'assurer que les constructeurs de tous les pays s'étaient à peu près rencontrés dans leurs dispositions de machines destinées au même usage. Elle a permis en même temps de constater le progrès accompli, qui est tel, que l'on a poussé à l'heure qu'il est l'art de la construction à ses dernières

limites, en vue d'utiliser le plus fructueusement possible les forces de la vapeur. Ce progrès est, d'ailleurs, à peu près général sur tout le continent européen. C'est qu'en effet, bien qu'une large part revienne à notre pays dans les premières découvertes qui ont ouvert des horizons nouveaux, il n'en est pas moins vrai que l'Angleterre nous a devancés de bien loin dans le champ des réalisations.

Aujourd'hui, la distance a été regagnée. Elle l'a été, non seulement par la France qui s'est placée, à peu de chose près, sur la même ligne que sa rivale, mais encore par d'autres peuples du continent.

Grâce aux rapprochements que les chemins de fer opèrent entre les nations, grâce aux grands concours universels de Londres, de Paris et de Vienne, les connaissances mécaniques se nivellent chaque jour davantage entre les pays civilisés. De même que l'égalité des prix, en ce qui concerne les denrées de consommation, tend de plus en plus à s'établir sur différents marchés, de même l'art de construire les engins mécaniques tend à monter partout au même nivéau.

Les différences entre les divers types adoptés tiennent tant[1] à la forme extérieure qu'au mode d'action de la vapeur. C'est d'après cette dernière considération, par exemple, que l'on distingue les machines dites à haute, moyenne et basse pression, suivant que la vapeur agit sous une pression plus ou moins élevée. On a encore les machines avec ou sans condensation, avec ou sans détente, etc.

Mais la division que nous avons adoptée pour notre étude ne porte pas sur ces différences en quelque sorte intimes et toutes intérieures ; elle n'a rien de scientifique ni de technique, et repose simplement sur les différences des formes extérieures, différences visibles et appréciables au premier abord par les observateurs les moins expérimentés.

Nous décrirons donc successivement :

Les machines *à balancier*, les machines *verticales* sans balancier, les machines *inclinées*, les machines *horizontales*, les machines *oscillantes*, et les machines *rotatives*.

Les machines à balancier sont les plus anciennes de toutes les machines à cylindre et à piston. Elles furent adoptées généralement par tous les imitateurs de Watt, qui copièrent exactement la disposition imaginée par lui. Aujourd'hui, la distribution de la vapeur, successivement au dessus et au dessous du piston, ne se fait plus, sauf de très rares exceptions, par le système à soupapes. On les a remplacées par un organe beaucoup plus simple qu'on appelle *tiroir*.

Le tiroir, du reste, est aussi dû au génie inventeur de Watt. C'est une boîte qui se meut dans une cavité fermée fixée au cylindre. La paroi de ce dernier offre une surface plane nommée *glace*. Cette glace porte trois fentes dont la supérieure communique avec le haut du cylindre au dessus du piston et l'inférieure avec le bas, au dessous du piston.

Le tiroir glisse sur la glace par un petit mouvement de va-et-vient calculé de telle sorte que l'ouverture centrale communique à tour de rôle,[2] par le tiroir, avec les deux ouvertures supérieure et inférieure.

De cette façon, chaque fois que la vapeur arrive dans le cylindre, son action refoule le piston qui chasse alternativement la vapeur déjà employée par l'ouverture supérieure et inférieure communiquant l'une et l'autre avec le dehors.

Les tiroirs s'appliquent à toutes les machines quelles qu'elles soient. Le mouvement leur est transmis par la machine elle-même. Cette transmission, qui est assez difficile dans les machines à balancier, est beaucoup plus simple dans les autres types de machines.

Du reste, les balanciers ont été peu à peu abandonnés et tendent maintenant à disparaître entièrement. Ils ne sont plus guère employés que dans des cas très particuliers.

La première simplification qui se présenta naturellement à l'esprit des constructeurs fut la suppression du balancier.

Ils construisirent donc des machines verticales à mouvement direct, sans balancier. Elles ont été et sont encore employées pour de faibles puissances. Elles exigent peu de place en surface, et peuvent se loger dans des espaces très restreints, pourvu que l'on dispose d'une certaine hauteur. Étant plus ramassées [8] que les machines à balancier, elles sont d'un entretien plus facile. Leur montage est simple et rapide. Elles donnent généralement l'avantage, quelquefois appréciable, de pouvoir placer l'arbre auquel elles communiquent directement le mouvement, à une certaine élévation en l'air. De cette qualité même découle immédiatement l'inconvénient d'élever en hauteur certains organes de la machine, ce qui les rend difficiles à visiter et à nettoyer. Les types de ces machines sont nombreux et variés ; un des meilleurs et des plus employés est désigné sous le nom de *machine verticale à colonnes*. Il est élégant, solide, peu encombrant et peu coûteux. La disposition qui assure le mouvement rectiligne de l'extrémité de la tige du piston est plus simple et plus mathématiquement exacte que le parallélogramme de Watt. Elle est due à un mécanicien américain nommé Oliver Evans.

On emploie encore volontiers la disposition verticale du cylindre à vapeur pour la construction de machines légères et de petites forces, que l'on veut rendre facilement transportables.

Les machines inclinées ou à cylindre oblique sont un acheminement de la machine verticale vers la machine horizontale.

Elles sont d'un emploi très rare dans l'industrie, étant en général fort lourdes, disgracieuses à l'œil, à cause de la position oblique du cylindre à vapeur, et ne présentant d'ailleurs aucun avantage spécial qui puisse compenser ces

inconvénients. Mais il n'en est pas de même pour la marine, pour laquelle elles ont au contraire de nombreux avantages, surtout pour les navires à roues.

Les machines à vapeur horizontales empruntent leur caractère essentiel à la forme spéciale de leur bâti et à la suppression du balancier. Par un simple changement de disposition du cylindre, ce système a presque fait une révolution dans l'emploi des moteurs à vapeur. En peu de temps, on a vu se monter dans les usines un grand nombre de machines horizontales qui devaient évidemment plaire, à cause de leur simplicité et de la grande solidité qu'elles présentent. Occupant peu de hauteur, elles peuvent être visitées facilement.

Par leur large assise, elles permettent de marcher à de grandes vitesses, sans craindre les vibrations et les ferraillements qui seraient inévitables avec les divers systèmes verticaux. De plus, les fondations sont moins coûteuses qu'avec tout autre système, ce qui fait que ces machines peuvent être établies à puissance égale, dans des conditions de prix moins onéreuses que les autres.

C'est depuis vingt-cinq ans surtout que ce genre de moteurs a vu ses applications se multiplier ; mais l'idée première de cette disposition n'est pas nouvelle. Elle semble appartenir à M. Périer qui prit, pour cet objet, un brevet d'invention le 24 août 1792.

A l'heure qu'il est ces machines sont devenues d'un usage absolument général.

Dans le principe on crut qu'elles ne pourraient pas être construites pour de grandes forces, et on éprouva une certaine difficulté à leur appliquer la condensation. Mais aujourd'hui, ces difficultés ont été heureusement surmontées, et, à l'exposition universelle de 1867, plusieurs des machines fournissant la force motrice étaient horizontales et à condensation.

Il n'y a pas bien longtemps que les ateliers d'un des premiers constructeurs d'Alsace ont fourni une machine horizontale de quatre-vingts chevaux de force.

La machine horizontale semble donc être, quant à présent, le meilleur récepteur de la force de la vapeur, et c'est aussi le plus employé sauf les cas particuliers où des circonstances tout à fait spéciales ou la disposition des lieux oblige absolument à en choisir un autre.

Les machines à vapeur oscillantes ont pour principe la suppression de la bielle dans la transformation du mouvement. Cette pièce est remplacée par un mouvement d'oscillation donné à l'ensemble du cylindre et de sa tige.

On attribue à Murdock, chef des ateliers des célèbres Boulton et Watt, l'idée de ce système qui remonterait à 1785. Mais c'est à M. Cavé que l'on doit son introduction en France, et les premières qui furent construites chez nous, à partir de 1825. Il eut d'abord quelque peine à faire accepter ce nouveau moteur, mais il y ajouta de notables perfectionnements et l'engouement de la mode aidant, il en construisit un grand nombre. Aujourd'hui, le goût en est à peu près passé, et elles ne sont plus guère employées que comme machines marines, parce que dans ce cas, l'avantage qu'elles ont de tenir très peu de place est particulièrement appréciable.

Imaginons un cylindre, dans lequel peut se mouvoir un piston tournant autour de l'axe du cylindre. Ce piston a la forme d'un rectangle compris exactement entre l'axe de rotation et la paroi intérieure du cylindre.

Admettons maintenant qu'il y ait dans ce dernier une cloison fixe. La vapeur arrive de la chaudière sur le piston qui prend un mouvement de rotation, et si l'on s'arrange de façon que, à un moment donné, la séparation lui livre passage,[4] le mouvement de rotation sera continu. Tel est le principe fondamental des machines rotatives.

Dans une machine rotative inventée par Watt, le piston a la forme d'une espèce de dent appliquée à l'axe. La cloison est un clapet articulé. Elle se loge, au moment du passage du piston, dans une cavité pratiquée pour cet objet dans la paroi du cylindre.

Les chocs du piston contre le clapet sont le principal inconvénient de cette machine, la plus simple de toutes les machines rotatives qui aient été imaginées depuis. C'est qu'en effet des recherches sans nombre, des essais multipliés ont été faits dans cette voie. Cependant les machines à cylindre, et en particulier les machines horizontales, sont à peu près parfaites, et c'est en quelque sorte un problème de théorie, la solution d'une question de mécanique scientifique que poursuivent les chercheurs, bien plutôt qu'une question véritablement pratique et pouvant donner lieu à des résultats avantageux.

Jusqu'à présent, le résultat a été celui-ci : On perd *au moins* autant de force par diverses causes, pour effectuer le mouvement direct, qu'on en consomme par les transmissions avec le système ordinaire.

Des essais importants ont été faits dans ces dernières années pour remplacer la vapeur d'eau comme générateur de la force motrice. Parmi eux il faut citer l'innovation de M. du Tremblay qui constitue l'une des tentatives les plus ingénieuses en ce genre.

Il s'agit de substituer à l'eau, corps peu volatil, l'éther, dont la vapeur se produit à la température ordinaire. L'éther a malheureusement un grave inconvénient. Il est trop facilement inflammable ; c'est pourquoi l'on a, poursuivant le cours de ces intéressantes recherches tenté d'employer l'ammoniaque liquide. Ces divers procédés n'en sont encore qu'à la phase des expériences, et n'ont rien produit jusqu'ici de réellement pratique.

Il faut mentionner aussi les moteurs à air chaud inventés

par le capitaine suédois Ericsson, et récemment perfectionnés par M. Laubereau qui en a presque fait des appareils usuels. Malheureusement le prix en est encore élevé, et c'est cela seul qui les empêche d'entrer définitivement dans la pratique courante.

Après les machines à air chaud viennent les moteurs à gaz, dans lesquels on a remplacé la force expansive de la vapeur par celle produite par l'explosion d'une petite quantité de gaz d'éclairage que l'on introduit successivement de l'un et de l'autre côté d'un piston qui se meut dans un cylindre disposé comme celui des moteurs à vapeur. Leur aspect extérieur est analogue à celui des machines à vapeur horizontales. Le plus connu de ces appareils est celui que l'on doit à M. Lenoir. L'engouement a été prompt et complet pour cette innovation, mais on commence à en revenir. Le moteur Lenoir, en effet, se détériore rapidement par suite des chocs résultant des explosions successives du gaz d'éclairage ; les articulations se disloquent et la machine ferraille. De plus, ils consomment beaucoup, et il est bien plus avantageux d'employer à leur place de petites machines à vapeur facilement transportables, de deux à trois chevaux, comme on en construit beaucoup à présent. En somme, les moteurs à gaz demandent, pour être sérieusement applicables, de nouveaux et nombreux perfectionnements ; jusqu'à présent, surtout à cause du prix élevé du gaz, les machines à vapeur gardent la première place, où elles attirent sur elles l'attention générale.

En effet, par suite des triomphes qu'a obtenus la vapeur, nous vivons, pour ainsi dire en elle, nous nous mouvons par elle. La vapeur contribue à produire presque tous les objets dont nous nous servons. Menacée ou non dans son avenir par des tentatives nouvelles et hardies, par des forces plus mystérieuses qui aspirent à la remplacer, la vapeur est

encore, et probablement pour de longues années, la véritable souveraine de l'espace et du temps. Les moteurs électriques ne font que naître,[5] ils sont dans cette phase d'enfantement qui ne permet guère de déterminer leur rôle.

Il n'y a donc pas à s'étonner si aujourd'hui chacun s'informe et se préoccupe des moteurs à vapeur, veut les connaître et en pénétrer les mystères, être initié aux secrets des merveilles qu'ils accomplissent.

C'est qu'il s'agit là de la cause intime de ce développement grandiose qu'a pris depuis quarante ans l'industrie contemporaine, de cette puissance mécanique qui distingue notre siècle des âges antérieurs dans la tradition du travail humain. Rien ne se fait de grand, de beau, d'utile sans le secours de la vapeur. Il n'y a plus, de nos jours, d'ateliers sans machine à vapeur : les machines-outils auxquelles on fait effectuer tant de travaux divers, tels que de raboter le fer, le bronze et l'acier, tourner, river, cisailler, etc. . . . n'agissent que si elles reçoivent leur impulsion d'une source extérieure destinée à produire la force.

La machine à vapeur est cette source : elle crée la force motrice et la distribue ensuite aux outils qui travaillent autour d'elle et comme sous ses ordres, au moyen d'un système d'arbres, de roues, de courroies, que l'on désigne sous le nom de *transmission*.

C'est la machine à vapeur qui a permis de remplacer l'homme dans l'exécution des travaux de force et purement manuels, en faisant surtout travailler son intelligence pour la direction des outils puissants qui lui sont substitués dans l'exécution matérielle.

C'est là ce qui caractérise surtout notre siècle : d'avoir confié la partie brutale et machinale du travail à des outils faits de fer et d'acier dont la force n'a pas de limite et auxquels l'homme prête seulement son intelligence, pour les diriger, comme le cerveau dirige la machine humaine.

L'ouvrier et l'industriel y trouvent leur avantage ; celui-ci parce que les produits fabriqués acquièrent une perfection en quelque sorte mathématique que la main de l'homme ne pourrait leur donner ; celui-là, parce que son esprit s'élève et se développe d'autant plus qu'il a moins recours à sa force brutale.

XXXVI. APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'ÉLECTRICITÉ.

I. Applications Mécaniques.

La découverte de l'électromagnétisme, ayant donné le moyen de créer à distance une force susceptible d'être détruite spontanément à un moment donné, on a immédiatement songé à tirer parti[1] de l'électricité, soit pour simplifier des appareils ou des mécanismes connus, soit pour obtenir des effets nouveaux qu'aucun autre agent ne saurait produire. La première de ces applications a eu pour objet la transmission rapide des correspondances, et sa réalisation pratique a créé la télégraphie électrique, qui a été le point de départ de toutes les autres. Nous allons faire une revue très rapide de ces dernières.

Chemins de fer. — Sur les chemins de fer, l'emploi de l'électricité a été proposé bien des fois comme moyen d'éviter les accidents. Pour réaliser cette idée, on a imaginé des centaines de systèmes, parmi lesquels, les uns, et ce sont les seuls rationnels, agissent automatiquement, tandis que les autres ne fonctionnent qu'avec l'intermédiaire[2] d'un personnel spécial. Tous ont pour objet de donner une ou plusieurs des indications suivantes : 1°[3] enregistrer à chaque station les différents points de la voie parcourue par les différents trains ; 2° permettre à deux trains venant à la rencontre l'un de l'autre, ou se suivant de trop près, de

s'avertir mutuellement de leur trop grand rapprochement ; 3° prévenir les trains en mouvement avançant vers les stations, que la voie est libre à ces stations ou qu'elle y est fermée ; 4° établir un échange de correspondances entre les stations et les convois et entre les convois eux-mêmes, de telle sorte que chaque convoi puisse prévenir celui qui le suit ou le précède du point de la voie où il se trouve ; 5° faire savoir si les disques-signaux qui précèdent les stations exécutent bien le mouvement voulu pour représenter le signal envoyé ; 6° mettre en communication les agents d'un train entre eux et avec les voyageurs ; 7° avertir les cantonniers, gardes-barrières, etc., de l'approche des trains.

Ces systèmes diffèrent entre eux par la disposition des circuits électriques. Leurs appareils, à leur tour, varient suivant la manière dont ce circuit est formé, ainsi que suivant l'effet spécial qu'on veut produire et le mode d'action qui doit être mis en jeu.[4] En général, chaque système emploie deux sortes d'appareils : les uns fixes, placés aux stations ou sur le bord de la voie, les autres mobiles, portés par les convois ; les premiers se composant ordinairement d'un indicateur, d'une sonnerie et d'une pile, d'une sonnerie et d'un transmetteur.

Nous avons parlé de l'énorme puissance d'attraction que les électro-aimants acquièrent quand un courant les traverse. On a plusieurs fois essayé d'utiliser cette puissance pour construire des freins capables de modérer et d'anéantir la vitesse des convois ; mais aucun des appareils proposés pour cela n'a pu, jusqu'à présent, devenir d'un usage général.

Horlogerie. — Les premiers essais pour appliquer l'électricité aux horloges ont été faits en 1840, par le physicien anglais Wheatstone. On peut se proposer trois objets différents en horlogerie électrique : 1° construire une horloge ordinaire dont le mouvement soit perpétué à l'aide de l'élec-

tricité, en sorte qu'elle puisse fonctionner pendant un temps très long, sans avoir besoin d'être remontée ; 2° communiquer le mouvement d'un régulateur, ou horloge-type, à un certain nombre d'aiguilles marchant sur des cadrans très éloignés les uns des autres ; 3° établir entre deux ou plusieurs horloges, même ordinaires, un synchronisme de marche[5] d'une exactitude rigoureuse de manière qu'elles restent toujours parfaitement d'accord. De là trois catégories d'horloges électriques. Ces appareils sont surtout en usage dans les grandes administrations[6] et dans les établissements publics ou privés dont l'étendue est considérable.

Chronoscopes et Chronographes. — Dans une foule de circonstances particulières, il est nécessaire de mesurer un intervalle de temps excessivement court, par exemple, un millième de seconde. Ainsi, lorsqu'on veut déterminer la promptitude d'inflammation des différentes espèces de poudres de guerre, la vitesse des projectiles et des corps qui ne peuvent, comme la lumière, produire un effet physique instantané à distance, on est forcé de recourir à des mécanismes capables de fournir une mesure infiniment petite, quelquefois même très inférieure à la fraction de seconde que nous venons d'indiquer. Dans tous ces cas, la plus grande difficulté à surmonter consiste dans l'appréciation précise du point de départ et du point d'arrêt[7] de l'observation ; car nos sens sont loin d'être assez sensibles pour une semblable appréciation, que l'électricité seule a pu rendre possible. C'est aux instruments employés dans ce but qu'on donne le nom de chronoscopes ou de chronographes. Wheatstone a imaginé le premier ces instruments, en 1840. Il en existe aujourd'hui un grand nombre d'espèces ; mais, quelle que soit leur disposition, leur mode d'action est fondé sur le même principe. Tous, en effet, fonctionnent au moyen de la production électrique de traces

dont on peut déterminer la valeur, relativement au temps, par le rapport qui existe entre leur longueur et la vitesse du mobile qui les a produites, vitesse qui peut toujours être connue.

Enregistreurs. — L'électricité donnant le moyen d'enregistrer les temps infiniment petits, à plus forte raison permet-elle d'enregistrer des temps plus ou moins longs et en rapport avec telles ou telles fonctions déterminées. Les appareils dont on fait alors usage sont particulièrement appelés enregistreurs électriques. Le nombre en est énorme, et il y en a pour les usages les plus variés. On les emploie pour faire connaître les vitesses différentes des machines aux différentes parties de la journée, la distance parcourue par les navires en mer, les différentes hauteurs de la marée, etc. ; pour enregistrer les indications d'une foule d'instruments de physique, baromètres, thermomètres, anémomètres, etc. On en a même fait pour écrir les improvisations musicales exécutées sur un piano, et constater l'heure et la durée des tremblements de terre.

Galvanoplastie. — Depuis son origine, la galvanoplastie est employée partout pour reproduire les œuvres de la sculpture avec une économie considérable et une fidélité qui défie la main de l'artiste le plus habile. Elle rend également des services inappréciables à l'imprimerie et à la gravure, auxquelles elle donne le moyen, soit de multiplier à peu de frais les planches et les bois gravés, soit de fabriquer des planches de cuivre à l'usage des graveurs, soit enfin de graver directement, et ce sont les procédés qu'elle emploie, dans ces diverses applications, qu'on désigne sous les noms d'électrotypie ou clichage galvanique, ou galvanographie.

Électro-chimie. — L'électro-chimie comprend plusieurs branches distinctes ; mais les plus importantes sont : d'une part, la *dorure* et l'*argenture ;* d'autre part, la *galvanisation.*

La dorure et l'argenture galvaniques ont pour objet, comme leur nom l'indique, de donner aux métaux communs l'aspect et les propriétés des metaux précieux. L'invention de l'une et de l'autre a été la conséquence de celle de la galvanoplastie. En effet, aussitôt que celle-ci fut connue, l'idée de se servir de l'électricité dynamique pour dorer et argenter vint à l'esprit des savants et des industriels. Le problème fut résolu, en Angleterre, dans l'été de 1840, par MM. Henri et Richard Elkington, de Birmingham. Ces inventeurs y parvinrent en remplaçant par des liqueurs alcalines les liqueurs acides employées jusqu'alors, et en se servant des composés de cyanogène et autres sels doubles qui ne sont pas décomposés par les métaux électro-positifs. Quelques mois plus tard, un de nos compatriotes, M. Henri de Ruolz, arriva de son côté aux mêmes resultats, et par des moyens à peu près semblables. Ce dernier n'a donc pas inventé l'orfévrerie électro-chimique, ainsi qu'on le croit généralement ; il a seulement, et c'est déjà un titre de gloire considérable, formulé nettement les règles à suivre pour que l'opération puisse avoir un succès complet.

Les bains sont formés de cyanure d'or ou d'argent dissous dans du cyanure de potassium.

La galvanisation a pour but de prolonger la durée des objets fragiles ou oxydables en les recouvrant d'une couche métallique assez mince pour ne pas altérer la pureté des lignes et la délicatesse des détails, et cependant assez résistante pour les mettre complétement à l'abri[8] des causes d'altération ou de destruction venant de l'extérieur. Il est superflu d'ajouter que lorsqu'ils ne sont pas conducteurs de l'électricité, on leur communique cette propriété en les plombaginant, après quoi on les place dans la dissolution métallique en les suspendant à l'électrode négative. C'est ainsi qu'on revêt d'une pellicule d'or ou d'argent des statuettes et des vases de plâtre ou de bois, des fruits, des

fleurs, jusqu'à des cadavres. C'est également au moyen du même procédé que, depuis plusieurs années, on soustrait aux ravages de l'oxydation les statues, les fontaines et les autres monuments de fonte qui décorent les places publiques, en les recouvrant d'une couche continue de cuivre rouge, ce qui constitue le cuivrage galvanique.

Électro-trieurs. — Certains oxydes métalliques peuvent devenir magnétiques par le grillage ou la réduction, et, dans cet état, il est possible de les séparer mécaniquement des corps étrangers auxquels ils sont unis. Dans les établissements où l'on travaille les métaux, on a souvent des limailles de fer ou de fonte mélangées avec des limailles de cuivre, et qu'on a intérêt à recueillir à part. C'est pour opérer cette espèce de triage qu'ont été inventés les appareils appelés électro-trieurs ou électro-trieuses. Ces appareils se composent d'une roue verticale, dont la circonférence est garnie d'un certain nombre d'électro-aimants et les choses sont disposées de telle sorte que trois de ces derniers au plus reçoivent le courant, quand ils se trouvent dans une position donnée. Aussitôt qu'ils ont abandonné cette position, ils deviennent inactifs et, par conséquent, peuvent abandonner les corps magnétiques qu'ils ont attirés. Cette roue tourne au-dessus d'une toile métallique qui, enroulée sur deux cylindres, amène les poussières mélangées qu'on veut soumettre à l'action électro-magnétique. Au moment où ces poussières viennent à passer à portée des électro-aimants actifs, ceux-ci attirent toutes les substances magnétiques, les transportent jusqu'à une certaine hauteur et, comme ils deviennent alors inertes, ils les laissent tomber sur le plan incliné de décharge, tandis que les matières non magnétiques restent sur la toile et sont entraînées par elle. La séparation des diverses poussières s'effectue ainsi d'une manière prompte et continue.

II. Applications Physiques.

Tirages des mines. — L'idée première de se servir de l'électricité pour enflammer la poudre à distance date du milieu du siècle dernier, et appartient à Franklin ;* mais elle n'a pu être réalisée pratiquement qu'une centaine d'années plus tard.

Aujourd'hui, on communique le feu à la charge des mines, soit en mettant à contribution [1] l'effet calorifique produit par le passage de l'électricité dans un fil très fin faiblement conducteur, soit en faisant réagir directement l'étincelle elle-même.

Le premier moyen est le plus ancien. Conçu, dès 1805, par un officier français nommé Gillot, il n'est cependant devenu d'une application facile qu'après 1845, quand l'emploi de la guttapercha a permis d'isoler parfaitement les fils conducteurs. On n'y a recours que pour les petites distances. On pourrait bien l'employer également pour porter le feu très loin ; mais il faudrait alors donner à la pile une puissance énorme. Ainsi, le 13 novembre 1852, jour de l'inauguration du télégraphe sous-marin de Douvres à Calais, pour faire partir un canon d'une rive à l'autre du détroit, on fut obligé de se servir d'une batterie de 20 piles formant ensemble 240 éléments de Bunsen.

* Voici en quels termes Franklin, dans une lettre datée du 29 juin 1751, a parlé de l'emploi de l'électricité pour enflammer la poudre : "Je n'ai pas appris qu'aucun de vos électriciens d'Europe ait encore réussi à enflammer la poudre à canon par le feu électrique. Nous le faisons de cette manière. On remplit une petite cartouche de poudre sèche, que l'on bourre assez fortement pour en écraser quelques grains ; on y enfonce ensuite deux fils d'archal pointus, un à chaque bout, en sorte que les deux pointes ne soient éloignées que d'un demi-pouce au milieu de la cartouche ; alors on place la cartouche dans le cercle d'une batterie : quand les quatre vases se déchargent, la flamme, sautant de la pointe d'un fil d'archal à celle de l'autre, dans la cartouche, au travers de la poudre, l'enflamme, et l'explosion de cette poudre se fait au même instant que le craquement de la décharge."

Le second moyen a été imaginé, en 1853, par don Gregorio Verdu, colonel du génie espagnol, qui était alors en mission à Paris. Cet officier se proposa de remédier à l'inconvénient du procédé usuel pour les grandes distances, et il y réussit complètement en combinant l'emploi de la pile ordinaire avec celui de la machine de Ruhmkorff. Grâce à cette combinaison, on peut, avec une pile très faible, obtenir des étincelles très puissantes et qui, en outre, se produisent par tous les temps et perdent fort peu de leur énergie avec la longueur du circuit. Toutefois, comme l'action de ces étincelles ne serait pas suffisante pour assurer l'inflammation de la poudre, on en rend l'effet immanquable en les faisant passer à travers une fusée spéciale, inventée par l'ingénieur anglais Stateham.

Le procédé Verdu est employé partout aujourd'hui pour faire jouer les mines[2] militaires. Il rend aussi de grands services à l'art des constructions, car il permet d'exécuter, avec une grande économie de temps et d'argent, des travaux considérables qui, par les anciens moyens, seraient d'une entreprise très difficile, sinon impossible.

III. Applications Chimiques.

Les applications chimiques de l'électricité ont eu pour point de départ une découverte capitale que firent, au commencement de ce siècle, deux savants anglais, le chirurgien Anthony Carlisle et le physicien William Nicholson. Le 2 mai 1800, peu de temps après que Volta eut construit son célèbre appareil, ces savants parvinrent à décomposer l'eau en y plongeant deux fils métalliques, dont l'un communiquait au pôle positif et l'autre au pôle négatif d'une pile : l'oxygène se rendit au pôle positif et l'hydrogène au pôle négatif. Cette belle expérience fut répétée partout, et l'on ne tarda pas à reconnaître que tous les sels sont décomposables par

le fluide électrique, quand ils se trouvent à l'état liquide, ce qui permit d'analyser une multitude de combinaisons qui avaient résisté jusqu'alors à tous les moyens d'investigation.

Électro-métallurgie. — De toutes les applications chimiques de l'électricité, la plus importante, au point de vue industriel, est celle qui a donné naissance à l'électro-métallurgie. On sait qu'on appelle ainsi l'art d'extraire, par l'action d'un courant galvanique, un métal dissous dans un liquide, pour le précipiter sur un objet conducteur ou *rendu conducteur* de l'électricité. Si l'on veut obtenir un dépôt d'une certaine épaisseur, cohérent et susceptible de se détacher du corps qui a servi de moule, l'opération prend le nom de *galvanoplastie.* Si, au contraire, on veut se borner à recouvrir un object d'une couche continue et adhérente, l'opération constitue l'*électro-chimie.*

Ainsi que nous venons de le dire, l'électro-métallurgie a son origine dans l'invention de la pile, dont on peut la regarder comme une des plus admirables conséquences. Tous les procédés qu'elle emploie reposent, en effet, sur le principe suivant, que nous nous contenterons d'énoncer très brièvement : *quand on soumet la dissolution d'un sel métallique à l'action d'une pile, cette dissolution se trouve bientôt réduite en ses éléments, de telle sorte que le métal vient se déposer au pôle négatif.* Ce principe a été connu dès 1800 ; mais il a fallu plus de trente ans pour qu'il ait pu devenir le point de départ d'applications industrielles ; et cependant, dans cet intervalle, plusieurs savants s'étaient trouvés sur la voie. Ainsi, en 1802, Louis Brugnatelli, élève et collaborateur de Volta, avait réussi à dorer des médailles d'argent "dans des ammoniures d'or nouvellement préparés et bien saturés." En 1825, M. de la Rive, physicien suisse, s'occupant de recherches dans le but de rendre moins dangereux le travail des doreurs au mercure, eut l'idée de faire passer le courant d'une forte pile dans une dissolution de chlorure

d'or ; mais il ne put obtenir aucun bon résultat. Plus tard, le même savant et le chimiste anglais Daniel, en étudiant les phénomènes de la pile, remarquèrent qu'un dépôt de cuivre, formé sur la plaque métallique placée au pôle négatif, offrait une copie fidèle des éraillures que cette plaque portait ; ils signalèrent le fait, mais sans en tirer aucune conséquence. Les choses étaient dans cet état lorsque, dans le courant de 1837, la galvanoplastie fut inventée, à quelques mois d'intervalle et dans deux pays à la fois : d'une part, en Russie, par le physicien Jacobi ; d'autre part, en Angleterre, par le physicien Thomas Spencer. Les recherches auxquelles on se livra aussitôt dans toute l'Europe ne tardèrent pas à conduire à la réalisation pratique de l'électro-chimie, et alors l'industrie se trouva en possession des deux branches de l'électro-métallurgie.

Galvanoplastic. — Nous venons de voir que l'invention de la galvanoplastie a été faite en Angleterre et en Russie, dans le courant de 1837. Disons quelques mots des circonstances qui lui donnèrent naissance.

Au mois de septembre 1837, M. Spencer, à Liverpool, faisait des expériences avec une petite pile dont l'unique élément était composé d'un disque de cuivre uni par un fil de même métal à un disque de zinc. Le cuivre plongeait dans une dissolution de sulfate de cuivre, et le zinc dans une dissolution de sel de cuisine. Quand l'appareil fut mis en action, il arriva que le métal réduit vint, en se déposant sur le disque négatif, s'arrêter sur les bords de gouttes de cire à cacheter qui étaient tombées accidentellement sur le disque de cuivre. M. Spencer comprit aussitôt qu'il était en son pouvoir de guider à volonté le dépôt cuivreux et de le couler en quelque sorte dans les lignes creusées sur une plaque de cuivre vernie. Il prit donc une plaque de cuivre, la recouvrit à chaud d'un mélange de cire jaune, de résine et d'ocre rouge, puis, avec une pointe, il y traça des lettres

et des dessins absolument comme s'il avait voulu faire de la gravure à l'eau-forte. Ayant alors soumis cette plaque à l'action d'une pile, il vit ses prévisions se réaliser, car le cuivre provenant de la décomposition du bain cuivreux vint remplir les sillons produits dans le vernis par le passage de la pointe et former des caractères en relief susceptibles d'être imprimés par les procédés de la typographie.

Quelque temps après, un hasard heureux lui fit entrevoir sa découverte sous un jour tout nouveau. Ayant besoin d'une plaque de cuivre pour former un de ses petits couples voltaïques, et ne trouvant point sous la main de disque de cuivre, l'idée lui vint d'employer à la place une pièce de monnaie. Il réunit donc cette pièce à une rondelle de zinc par un fil métallique. Le couple fut disposé comme à l'ordinaire et le dépôt ne tarda pas à commencer. Au bout de quelques heures, trouvant que l'expérience ne marchait pas suivant son désir, il démonta l'appareil et arracha par fragments le cuivre réduit qui recouvrait l'élément négatif. Alors, à sa grande surprise, il observa que tous les détails de la pièce étaient reproduits sur ces fragments de cuivre avec une fidélité rigoureuse. Il répéta aussitôt la même expérience, mais en se servant d'une médaille de cuivre dont le relief était considérable, et il y fit déposer une croûte de cuivre d'un millimètre d'épaisseur environ. Ayant ensuite détaché cette croûte avec précaution, il vit qu'elle était un fac-simile mathématiquement exact de la médaille. Après une telle observation, la galvanoplastie était inventée. Il est inutile de dire, en effet, que M. Spencer ne se contenta pas de mouler en creux des monnaies et des médailles ; il se servit aussi de ces moules pour en obtenir des contre-épreuves qui étaient les copies parfaites de l'original.

Pendant que M. Spencer découvrait ainsi la galvanoplastie, M. Jacobi, à Dorpat, arrivait par une autre voie à des résultats semblables. En février 1837, comme il se

livrait à des expériences sur l'électro-magnétisme, il trouva, sur une plaque métallique, des empreintes de cuivre du dessin le plus régulier. Il voulut alors connaître le mode de formation de ces empreintes et, en même temps, pouvoir les reproduire. A cet effet, il soumit à l'action des courants électriques d'une faible intensité des lames de cuivre sur lesquelles il avait fait graver des lettres et des figures, et, comme M. Spencer, il obtint des dépôts de cuivre qui reproduisaient exactement en relief les traits gravés en creux sur les planches. Il reconnut aussi que des contre-épreuves de ces dépôts pouvaient être obtenues à l'aide du même procédé, en sorte qu'il était possible de multiplier à l'infini les exemplaires de la planche originale.

En poursuivant leurs essais, Spencer et Jacobi remarquèrent que, pour produire un dépôt d'une certaine épaisseur, cohérent et susceptible de se détacher du corps qui lui avait servi de moule, il fallait que le courant eût une faible intensité et une force constante. Jacobi fit une autre découverte non moins importante. Il remarqua que la dissolution du sel métallique devait toujours être parfaitement saturée, afin que, son pouvoir conducteur restant le même, elle laissât constamment passer la même quantité de fluide électrique, et il trouva que, pour remplir cette condition, il suffisait de mettre dans la dissolution des cristaux du sel qui la saturait, ou bien de prendre pour pôle positif une plaque du métal qui se déposait au pôle négatif. Ce sont les plaques de ce genre qu'on appelle *électrodes* ou *anodes solubles*, parce que, à mesure qu'il se fait au pôle négatif un dépôt métallique aux dépens de la dissolution saline, elles se dissolvent dans le liquide à peu près dans la même proportion, en sorte que la saturation de ce dernier ne varie pas sensiblement.

L'invention de la galvanoplastie fut immédiatement rendue publique. Ceux qui l'avaient faite n'eurent même

pas l'idée de l'exploiter à leur profit. Toutefois, les applications de l'art nouveau furent d'abord peu nombreuses, à cause de l'obligation où l'on se trouvait de n'employer que des moules métalliques. Cet obstacle exista jusque vers le milieu de 1840, époque à laquelle M. Boquillon, en France, et M. Murray, en Angleterre, découvrirent presque simultanément qu'il était possible de communiquer la propriété conductrice de l'électricité aux substances qui ne la possédaient pas, en les recouvrant d'une couche pulvérulente de plombagine, corps éminemment conducteur. Dès ce moment, il fut possible de remplacer les moules de métal par des moules de plâtre, de cire à cacheter, de gélatine, de gutta-percha, etc., et la galvanoplastie put recevoir les destinations les plus diverses. En même temps, au lieu d'opérer seulement sur le cuivre, comme faisaient Spencer et Jacobi, on chercha des moyens de réduction pour les autres métaux et l'on réussit pour les plus utiles, ce qui permit d'étendre encore davantage le champ des opérations.

XXXVII. QU'EST-CE QUE L'ÉLECTRICITÉ?

Qu'est-ce que l'électricité? La question se pose sans qu'on le veuille. La réponse n'est pas aisée. Un coup d'œil rapide sur son histoire nous apprendra peut-être quelque chose.

Il y a bien longtemps, quelque six cents ans avant notre ère, si l'on en croit la légende, les petits enfants de Milet, en Ionie,[1] jouaient avec des espèces de pierres que la mer jetait sur le rivage ; ils frottaient ces pierres sur le pan de leur tunique de laine ; alors, elles attiraient des brins de paille, des morceaux de feuilles sèches, et cela réjouissait les enfants. Thalès,[2] un des sept sages, vit leurs jeux, il examina les pierres, reconnut l'électron, l'ambre parfumé ;

il vit que le frottement y faisait apparaître un agent spécial qui lui donnait des propriétés nouvelles ; il nomma cet agent électricité. C'est, paraît-il, tout ce qu'il fit. Il savait, sans doute, combien les hommes se contentent facilement d'un mot, et qu'un nom bien trouvé suffit souvent à faire une renommée ; il savait aussi, pour l'avoir éprouvé, que celui qui veut aller au-delà et savoir ce qu'il y a derrière le nom, doit donner sa vie à la recherche pour ne trouver à la fin que l'insuccès bien souvent, presque toujours le doute et la critique ; il avait trouvé le nom, il s'en tint là ; c'était vraiment un sage.

Au reste l'antiquité, qui a tant philosophé, n'observait pas beaucoup, et expérimentait moins encore. Aristote[3] est peut-être le seul grand observateur. Archimède[4] le seul expérimentateur marquant que nous ait légué l'époque grecque et romaine.

Après elle, le moyen-âge, l'obscurité, le bruit incessant des armes, la barbarie renaissante. Qui, pendant ce temps, pensait, encore, à frotter l'ambre et s'intéressait à l'électricité ? Quelque moine peut-être, oublié dans son cloître, ou plutôt quelque savant arabe, de ceux qui nous ont transmis l'algèbre et l'alchimie avec leurs noms orientaux.

Nous ne savons pas, et pendant des siècles l'électricité semble dormir. Nous ne savons pas non plus comment elle s'est réveillée, car il a dû exister des travaux et des études avant le traité *de magnete*,[5] le premier document que nous ayons, et qui fut écrit par Gilbert, le médecin de la reine Elisabeth d'Angleterre.

Il est fort curieux ce traité et montre dans son auteur, à travers quantité d'idées fausses, inévitables au seizième siècle, un observateur et un expérimentateur. Il a vu que l'électricité pouvait se développer sur beaucoup de corps, il a entrevu la liaison entre l'électricité et le magnétisme ; on lui attribue même, bien que cela soit douteux, cette

découverte importante qu'il y a des corps qui ne se laissent pas traverser par l'électricité, les corps isolants, et d'autres où elle se transporte avec une extrême facilité, les corps conducteurs. Il ne sait pas d'ailleurs ce que c'est que l'électricité, mais il a déjà indiqué le mot de *fluide :* un mot qui a fait une haute fortune, sans doute parce qu'il ne signifie rien, ou plutôt qu'il signifie tout ce qu'on veut. Succès de la médiocrité complaisante.

La méthode scientifique a commencé d'être appliquée, elle ne s'arrête plus, les travaux se multiplient ; beaucoup sont oubliés dont il ne reste que les traces. Quelques-uns subsistent, par exemple les recherches d'Otto de Guéricke[6] et la machine formée d'une sphère de soufre que l'on faisait tourner en la frottant avec les mains. C'est vers ce temps, sans doute, que l'on aperçut pour la première fois l'étincelle électrique ; qui la vit le premier, on ne sait, mais aussitôt apparaît l'idée que l'électricité n'est autre chose que la foudre. L'homme a reconnu, non sans éprouver sans doute un sentiment d'orgueil, qu'il tenait dans sa main, avec sa petite machine, l'un des plus effrayants phénomènes de la nature. Toutefois il ne semble pas que sa hardiesse se soit haussée dès l'abord jusqu'à penser qu'il pourrait dompter ce phénomène, le régler et l'utiliser ; sa première idée a été de se servir de ce qu'il savait pour se défendre. C'est dans ce sens que sont dirigées les recherches du dix-septième et du dix-huitième siècle et nous ne voyons d'autre application pratique des travaux assez nombreux produits pendant ce temps que le paratonnerre.

La fin du dix-huitième siècle amène la découverte qui doit tout changer, celle de la pile et du courant électrique.

On a beaucoup attaqué Volta ;[7] on lui reproche de n'avoir pas vu lui-même la portée de son invention ; on dit que la théorie qu'il a donnée de sa pile est fausse. Il y a du vrai, mais on exagère ; sans doute il y a eu dans la science des

esprits d'une plus vaste envergure [8] que celui de Volta, mais il n'a pas été sans comprendre qu'il apportait une forme nouvelle de l'électricité, une forme sous laquelle elle devenait susceptible de fournir de l'énergie ; quant à sa théorie, si elle n'est pas tout à fait exacte, il se rencontre en cela avec plus d'un grand inventeur, et, pour ne pas sortir de l'électricité, la machine dynamo-électrique et le téléphone par exemple, ont été conçus en partant d'idées fort différentes de la théorie aujourd'hui acceptée.

Quoiqu'il en soit, la voie nouvelle est ouverte ; le développement pratique va être incessant. L'histoire en est bien connue et il n'est guère utile de la redire; mais après tout, on peut, sans être avare, prendre quelque plaisir à repasser rapidement l'inventaire de sa richesse. Il peut se rencontrer dans la revue quelque détail oublié que l'on retrouvera volontiers.

L'électricité a d'ailleurs ceci pour elle qu'elle nous présente plusieurs figures de savants aimables : aucune, je pense, plus que celle d'Ampère [9] qui, au commencement du siècle, fit faire à la science un si grand pas. La timidité, la distraction d'Ampère sont dès longtemps célèbres et ont donné naissance à quantité d'anecdotes. Ses lettres publiées nous ont révélé la bonté, la délicatesse de ce caractère exquis; mais tous ceux qui ont touché à la science électrique savent à quelle hauteur il faut placer ce génie à la fois précis et étendu aussi éminent dans la théorie que dans l'expérience. Ampère ne procédait pas en chercheur hasardeux ; partant d'une idée qu'il consolidait par le calcul, il aboutissait à des conclusions bien déterminées qu'il contrôlait ensuite. On raconte qu'un jour il faisait un essai ; un fil parcouru par le courant électrique formait un équipage mobile qui, dans certaines conditions, devait se mettre à tourner ; l'expérience était délicate. Aidé d'un collaborateur, Ampère l'avait plusieurs fois recommencée sans réussir;

il était tard et son aide voulait se retirer. "Monsieur, lui disait le bon Ampère, je vous en prie, restez encore un peu." Et presque pleurant, il ajoutait: "Il tournera, monsieur, restez, je vous assure qu'il tournera." Et le fil tourna, montrant une fois de plus comment certains esprits ont la perception évidente des rapports que les autres n'aperçoivent pas, faculté qui est proprement ce que nous appelons le génie.

Ampère donna les lois de l'électro-dynamique. D'autres, Ohm,[10] pour ne citer que lui, donnèrent les lois de la production et de la propagation du courant électrique, les moyens de le mesurer; en somme, dans les quarante premières années du siècle, la théorie de l'électricité sous cette forme active était constituée dans ses parties essentielles; on ne sait pas ce que c'est que l'électricité, mais on peut s'en servir et les grandes applications industrielles auraient pu se réaliser.

Elles devaient attendre cependant. C'est que pour les grandes applications, il faut disposer de grandes puissances, quelle que soit la forme sous laquelle on veut les employer; or, nous n'avons jusqu'ici qu'une seule source économique et commode de puissance, c'est la chaleur. On ne savait pas alors produire l'électricité au moyen de la chaleur; le lien, le procédé de passage de l'un à l'autre n'était pas trouvé. On demandait l'électricité à la combinaison chimique, à la combustion du zinc dans les acides, procédé incommode et coûteux qui interdisait la production en masses. Il fallut donc se restreindre aux applications qui se contentent de faibles courants, et renonçant à demander à l'électricité la puissance, utiliser les admirables qualités de rapidité, de précision qui la rendent si apte à produire des signaux à distance. Ce qu'on pourrait nommer l'époque télégraphique commença.

Que de merveilles d'ingéniosité et d'invention seraient à

citer dans cet ordre d'idées ; sans parler des appareils à signaux en eux-mêmes, un résultat a été visé et atteint de plusieurs manières, c'est de permettre à une ligne conductrice de transmettre en un temps donné le plus de depêches possible. Pour cela on a inventé le système duplex dans lequel les deux interlocuteurs parlent en même temps, procédé aussi incorrect qu'incommode dans la vie usuelle, parfait en télégraphie ; puis toute la série des multiples. Ceux-ci sont en général fondés sur ce fait que l'électricité emploie pour transmettre le signal beaucoup moins de temps qu'il n'en faut au télégraphiste pour le formuler ; les moyens employés pour utiliser ce fait sont aussi ingénieux que variés. Il faudrait donner le même éloge aux appareils qui ont permis de faire la télégraphie sous-marine, et où s'est déployé le génie de sir William Thomson [11] (nous l'avons trop longtemps admiré sous ce nom pour pouvoir l'appeler sans hésitation Lord Kelvin). Mais que dirons-nous du téléphone qui est venu couronner cette brillante série par une merveille inattendue, du téléphone qui déjà s'étend, se perfectionne, et qui est loin d'avoir dit son dernier mot ; n'aurons-nous pas quelque jour le moyen de voir à distance ; pourquoi pas ?

Pendant qu'on télégraphiait ainsi, une révolution se préparait ; un homme de grand génie, Faraday [12] avait apporté des notions nouvelles ; il avait découvert ce qu'on nomme les phénomènes d'induction, montrant, par exemple, que si l'on met un fil de cuivre en mouvement à proximité d'un aimant, il se développe un courant électrique dans ce fil comme s'il était relié à une pile électrique. Dès lors, la liaison qui nous manquait entre l'électricité et la chaleur est trouvée, car si le mouvement nous donne l'électricité, d'autre part nous savons produire le mouvement au moyen de la chaleur, puisque nous possédons la machine à vapeur ; il doit donc être possible en dépensant du charbon dans une chaudière, d'engendrer le courant dans une machine appropriée.

Cela était possible, mais il fallut des années pour que l'idée prit forme et se réalisât; il sera juste de faire remonter à Pacinotti[13] la première idée de la machine dynamo-électrique qu'il imagina en 1864, il sera juste aussi d'en reporter le mérite pratique à Gramme,[14] qui la retrouva sept ans après et la rendit utilisable.

Ce qui s'est passé depuis, chacun l'a vu ; c'est l'éclairage électrique, d'abord discuté, s'accrochant aux obstacles, mais après tout recherché, apprécié, faisant son chemin tous les jours ; puis c'est l'électricité appliquée à la traction, la moitié des tramways, aux États-Unis, déjà devenus électriques, le mouvement commençant en Europe pour ne plus s'arrêter ; c'est encore l'électricité pénétrant dans la métallurgie, préparant l'aluminium à bon marché, raffinant le cuivre, utilisée pour les blanchiments, c'est en un mot, ainsi qu'on le dira mieux dans la suite de cet article, une puissance actuelle d'un million de chevaux-vapeur employés a produire l'électricité ; que sera-ce demain ?

La carrière est immense et toutes les espérances sont justifiées; le mouvement électrique ne s'arrête pas; la science évolue sans cesse ; il est bien probable, par exemple, que nous ne nous arrêterons pas aux moyens actuels d'engendrer l'électricité ; nous la tirons de la chaleur il est vrai, mais par quel procédé détourné, chaleur, vapeur, mouvement, électricité, et avec quel gaspillage. C'est à peine si nous recueillons en énergie électrique 10 %[15] de la chaleur fournie par le charbon brûlé ; cela est barbare, pourquoi n'y aurait-il pas un moyen plus direct et meilleur ? On le trouvera n'en doutons pas, et ce jour là, l'industrie entière sera transformée, la machine à vapeur sera remplacée par la force électrique ; la machine à vapeur en obligeant le travail à se grouper autour d'elle a été la cause originelle de la création des grandes usines, des ateliers concentrés ; l'électricité qui se distribue aisément peut amener le mouvement inverse, en

dispersant la puissance, favoriser l'initiative individuelle, modifier profondément l'état social.

Et maintenant revenons : qu'est-ce que l'électricité ?

Il faut bien reconnaître que l'histoire n'a pas péremptoirement répondu, et s'il faut parler en toute rigueur scientifique nous devons avouer que nous l'ignorons.

Mais à côté de la rigueur, il y a l'hypothèse, et on a bien le droit de faire quelques pas de ce côté ; la masse d'études qui ont constitué la science n'ont pas été sans apporter quelques lumières.

Ampère avait donné les lois des actions que les courants exercent entre eux ; un courant, par exemple, qui passe dans une direction parallèle à un autre, l'attire ; comment cela peut-il se faire ? dit Faraday ; le résultat est bien exact, mais comment concevoir cette action exercée à distance ? Il n'y a pas de faits mystérieux dans la nature, s'il y a attraction, c'est que le premier courant agit sur le milieu qui l'entoure, et que ce milieu vient ensuite agir sur le second courant ; l'électricité est une propriété générale des corps et elle agit d'une manière continue dans tout l'univers qui en est pénétré.

Puis un grand disciple de Faraday, Clerk Maxwell,[16] reprenant cette hypothèse féconde, la serre de plus près, l'attaque par le calcul ; il fait voir que l'électricité est un agent analogue à ceux que nous connaissons déjà. Les effets s'expliquent très bien en la considérant comme un mouvement, une ondulation. Bref, s'il n'affirme pas précisément que l'électricité n'est autre chose que la lumière, il indique si bien sa pensée qu'on n'a pas hésité à l'affirmer après lui.

De bien curieuses expériences viennent appuyer cette idée particulièrement les travaux si frappants où Hertz[17] a mis en relief l'existence des ondes électriques et a montré qu'elles se comportent tout à fait comme les ondes lumineuses.

Aujourd'hui, les gens rigoureux déclarent qu'ils ignorent, les gens réservés se taisent, les gens hardis disent que

l'électricité c'est la lumière, ou, que si ce n'est elle, c'est donc sa sœur jumelle.

Les gens difficiles pourraient dire que ce n'est pas une solution puisque, au fond, nous ne savons pas bien ce que c'est que la lumière ; mais les gens difficiles auraient tort ; nous ne savons rien à fond, mais nous avons pour les phénomènes lumineux une théorie bien complète, des hypothèses déjà vérifiées, un ensemble de connaissances qu'il sera précieux de pouvoir appliquer à un agent sur lequel nous étions bien moins avancés.

Et, d'ailleurs, n'est-ce pas une satisfaction pour l'esprit de voir se simplifier la conception du monde ? Après ces grands principes aujourd'hui si solidement fondés et devenus les bases puissantes de la science, la conservation de la matière, la conservation de l'énergie, on éprouve une sensation reposante à voir encore les phénomènes se rapprocher, les actions d'apparences si diverses se confondre, et marcher vers l'unification des forces.

Les plus frappants rapprochements ont été vus. On a réalisé les ondes électriques, comme on avait aperçu les ondes lumineuses ; elles se comportent de même manière ; la vitesse de translation paraît être la même, seulement l'électricité a une échelle de développement bien plus vaste dans le temps et l'espace, bref, l'électricité serait le général et la lumière le cas particulier.

XXXVIII. LES NOUVEAUX HYGROMÈTRES.

On sait qu'une des parties essentielles de la météorologie est l'*hygrométrie*. Le problème général de l'hygrométrie consiste à déterminer la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère à un instant déterminé. Cette donnée est, en effet, reliée intimement à l'apparition de la pluie, de la rosée, etc. Elle est donc importante à connaître.

Deux solutions sont en présence pour cela. Elles ont donné lieu à deux classes d'instruments ; les hygromètres *à condensation* et les hygromètres *à absorption.*

Hygromètre à condensation. — Dans les premiers on fait condenser la vapeur d'eau sur une surface froide, répétant avec précision l'expérience journalière du dépôt de rosée qui a lieu sur une carafe frappée quand on la monte de la cave, qui est froide, dans la salle à manger qui est chaude et dont l'atmosphère est chargée de vapeur d'eau.

Un hygromètre à condensation se composera donc essentiellement d'un vase *A* (Fig. 27) contenant un liquide que l'on peut refroidir graduellement. Il arrivera un moment où la rosée se déposera sur les parois du vase *A*, et cela aura lieu à une température d'autant plus basse que l'atmosphère sera moins humide. On note, à l'aide d'un thermomètre *T*, la température t du liquide au moment de la condensation, ainsi que la température θ de l'air environnant au moment de l'expérience. On cherche dans les *Tables de Regnault*[1] les tensions maxima de la vapeur d'eau, F_t et F_θ aux températures t et θ, et l'*état hygrométrique* cherché est donné par le quotient de F_t par F_θ.

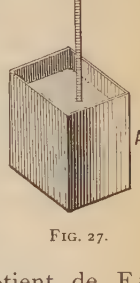


Fig. 27.

On voit que toute la manipulation consiste à refroidir le vase *A* et à observer le dépôt de rosée. De la précision de cette observation dépend la précision avec laquelle on connaît l'état hygrométrique.

Depuis Leroy, médecin de Montpellier, qui inventa au siècle dernier l'hygromètre à condensation, divers modèles en ont été imaginés successivement par *Daniell*, *Regnault*, *Alluard*. Le dernier de ces instruments a pour but surtout de rendre plus précise l'observation du dépôt de rosée, par

le contraste entre la surface métallique ternie par le dépôt et une surface nette placée à côté d'elle.

Mais tous ces instruments ont un défaut commun et comportent[2] une erreur systématique : la température t à laquelle la condensation a lieu est toujours fournie par un thermomètre placé *dans le liquide intérieur*. Il indique donc la température de ce liquide. Or, les liquides étant mauvais conducteurs de la chaleur, cette température n'est pas identique à celle qu'il importerait, au contraire, de connaître, c'est-à-dire la température *de la paroi* sur laquelle la rosée se dépose.

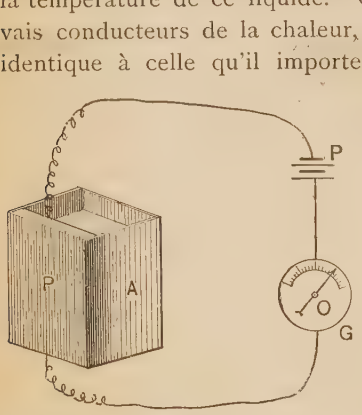


FIG. 28.

L'appareil imaginé par M. Gilbault évite précisément cet inconvénient grave. La paroi antérieure du vase A (Fig. 28), sur laquelle on observe le dépôt de rosée, est formé d'une *glace platinée* P, et la couche superficielle de platine peut être, au moyen de deux fils conducteurs, traversée par un courant électrique, dont on peut mesurer l'intensité. Or, on sait que la *résistance* opposée par la platine au passage de l'électricité varie en même temps que la température, et que la loi de cette variation est connue. On peut donc, inversement, de la mesure de la *résistance* du platine, déduire la température à laquelle il s'abaisse ; comme il est en couche très mince, et que c'est sur cette couche que se dépose la rosée, on aura vraiment, de cette façon, la température exacte de l'air au moment de la condensation. Il y a donc là un notable progrès apporté à la construction des hygromètres à condensation.

Ce progrès a été réalisé par M. Dufour, de Lausanne, d'une façon plus simple encore. Puisque c'est la tempéra-

ture de la paroi métallique qu'il importe de connaître, et que, d'ailleurs, les métaux sont infiniment plus conducteurs[3] que les liquides, M. Dufour a constitué la face sur laquelle la rosée se dépose à l'aide d'une lame de cuivre épaisse, percée d'un trou : ce trou contient du mercure dans lequel plonge un thermomètre. On a ainsi la température du *point de rosée* avec beaucoup plus de précision que dans le cas d'un instrument ordinaire.

Hygromètre chimique. — Toutefois, les hygromètres à condensation sont loin de valoir les instruments dans lesquels on absorbe la vapeur d'eau existant dans l'atmosphère par une substance avide d'eau, comme l'acide phosphorique anhydre ou l'acide sulfurique. Dans ces derniers, en effet, que l'on appelle *hygromètres chimiques*, aucune hypothèse n'est à faire pour en expliquer le fonctionnement : ils permettent de déterminer directement le poids de vapeur d'eau qui se trouve dans un volume déterminé d'air.

On sait comment est construit, en général, l'hygromètre chimique. Un vase de métal, contenant 50 ou 100 litres d'eau, est fermé par un robinet, et communique, à sa partie supérieure, avec une série de tubes en U contenant des matières desséchantes, pesées avec soin. On ouvre le robinet : l'eau s'écoule et aspire un volume d'air égal au sien ; cet air ne pénètre dans le récipient qu'après avoir traversé toute la série des tubes absorbants, qui retiennent la vapeur d'eau. Il suffit donc de les peser après l'expérience : leur augmentation de poids fait connaître, avec toute la précision que comporte une pesée, le poids de vapeur d'eau existant dans le volume d'air qui a traversé l'appareil.

Mais on voit de suite l'inconvénient de cette méthode : pour que toute la vapeur soit absorbée, il faut que le courant d'air soit lent, ce qui nécessite un temps très long, vu qu'il y a 100 litres d'eau à faire écouler ; comme il y a de nombreux tubes, il faut les peser séparément : longueur

dans les pesées et multiplication probable du nombre des erreurs.

M. Berget a remarqué qu'il était inutile, étant donnée la précision des balances actuelles, de mettre en jeu d'aussi grandes masses d'air. En effet, les balances précises donnent aujourd'hui, couramment, le dixième de milligramme. Si d'ailleurs, on se reporte aux tables des tensions de la vapeur d'eau aux différentes températures, on voit que, dans 4 litres d'air il y a

à 5°	0 gr.	0271	de vapeur	saturante.
10°	0,	0374	"	"
15°	0,	0514	"	"
20°	0,	0686	"	"
25°	0,	0933	"	"

Si la balance pèse au dixième de milligramme, et si l'on remarque que les nombres de la quatrième colonne après

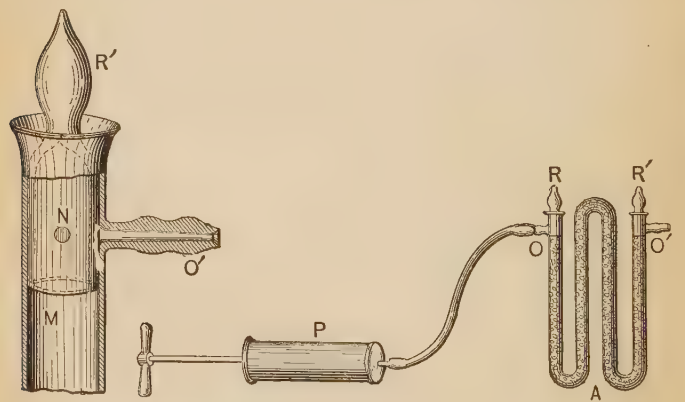


FIG. 29. — Hygromètre chimique de M. A. Berget.

la virgule expriment précisément des nombres entiers de dixièmes de milligrammes, on voit qu'en faisant passer simplement 4 litres d'air sur les tubes à absorption on aura une précision bien supérieure à celle des hygromètres à

condensation qui donnent à peine l'état hygrométrique à $\frac{1}{100}$ près.

Voici l'appareil de M. Berget (Fig. 29). L'aspirateur est remplacé par un petit corps de pompe cylindrique *P* d'une capacité de $\frac{1}{2}$ litre. Quand on veut faire passer 4 litres d'air, on donne 8 coups de piston. Les tubes à absorption *A*, contenant l'acide phosphorique, sont d'une seule pièce ; leurs bouchons sont *en verre*, rodés à l'émeri, et servent en même temps de robinets ; comme le montre la Fig. 29, le bouchon est creusé en forme de cloche et porte un trou latéral *N*, qui, suivant qu'on le place dans une position ou dans une autre, ouvre ou ferme l'orifice du tube latéral *O'*.

Tout cet appareil n'a que quelques centimètres de longueur et est très transportable ; un avantage considérable est qu'on peut avoir plusieurs tubes en U de rechange,[4] et ne les peser que longtemps après l'observation : on conserve ainsi un *témoin* de l'expérience. Cela peut être fort utile quand on explore les couches élevées de l'atmosphère, soit dans une ascension de montagne, soit dans une ascension aérostatique.[5]

XXXIX. LE DIAMANT ARTIFICIEL.

Les alchimistes ont cherché pendant des siècles la "pierre philosophale,"[1] le merveilleux talisman qui devait, dans la braise ardente de leurs fourneaux, "transmuter" les vils métaux en or. Avides de gloire, autant que de richesses, le visage émacié par les veilles, brûlés par la fièvre de savoir autant que par les fournaises sur lesquelles leurs yeux inquiets demeuraient jour et nuit attachés, ils n'ont pas atteint le but du "grand œuvre."[2] Et pourtant ce n'est pas en vain qu'ils ont sondé les mystères de la matière, ridé sur les grimoires leurs fronts de penseurs sous lesquels ont souvent lui des éclairs de génie. S'ils n'ont pas trouvé la

pierre philosophale, ils ont créé la chimie. Or, la chimie ne cherche plus aujourd'hui la transmutation des métaux en or : elle a reconnu que les agents dont elle dispose actuellement ne peuvent entamer certains corps. Ni les variations de température, ni les variations de pression, depuis les plus basses jusqu'aux plus hautes que l'on sache produire, ni la lumière, ni l'électricité ne peuvent déceler dans l'or, dans le fer, dans le cuivre, dans le charbon aucune trace de combinaison. La chimie compte environ soixante-dix de ces corps contre lesquels tous les efforts de l'analyse sont restés sans résultat, qui se prêtent à une foule de combinaisons, qui peuvent ensuite être dégagés de ces combinaisons, mais dont on ne peut tirer rien autre chose qu'eux mêmes : ce sont des *corps simples*. Non pas que la science se condamne à respecter toujours leur individualité aujourd'hui irréductible. Quelques indices semblent vraiment bien faits pour appuyer les philosophes qui sont portés à admettre l'unité de la matière, pour lesquels il n'y a en réalité qu'un seul corps simple, une substance cosmique originelle, dont tous les corps ne seraient que des formes diverses. Peut-être les alchimistes avaient-ils raison, au fond, de croire à la transmutation des métaux ; peut-être leur rêve sera-t-il un jour réalisé. Il est seulement démontré qu'ils étaient trop pressés. Un mirage les trompait, qui leur faisait croire tout proche le but que la science ose à peine soupçonner aujourd'hui dans un lointain très reculé.

Il est, au contraire, une œuvre que la science accomplit chaque jour, c'est celle de la transmutation des "formes," des "facies" d'un même corps, ou, comme on dit en chimie, des *états allotropiques*. Un même corps, sans aucune addition ni soustraction de matière, sans aucune décomposition, peut revêtir, suivant les conditions où il a été placé, des caractères étonnamment différents. Tel le phosphore, qui se présente sous les deux formes, bien définies par leurs

caractères cristallins, de *phosphore ordinaire* et de *phosphore rouge:* transparent, légèrement ambré, lumineux dans l'obscurité, très inflammable, très vénéneux, voilà quelques traits du signalement du premier ; rouge foncé, non lumineux dans l'obscurité, difficilement inflammable, non vénéneux, voilà les traits correspondants du second.

Qui ne sait aujourd'hui que les purs diamants dont se parent les plus magnifiques majestés orientales ne sont rien autre chose chimiquement que le graphite des vulgaires crayons, la plombagine dont le fumiste oint la fonte rouillée de ses fourneaux, rien autre chose non plus que le noir morceau de charbon qui reste dans la cuiller de fer quand la cuisinière a oublié sur le feu le morceau de sucre destiné à devenir caramel ?

Il y a cent ans et plus que notre grand Lavoisier[3] a démontré cela irréfutablement. Vous pensez bien que plus d'un chercheur a pâli[4] depuis lors sur la transmutation du charbon en diamant. Il n'est point question ici, bien entendu, des simili-diamants plus ou moins brillants que les joailliers ont lancés avec des succès divers et qui ne sont en réalité que des variétés de verre, des silicates.

Parmi les essais tentés pour produire artificiellement le vrai diamant, il faut citer celui de Desprez en 1853. En volatilisant du charbon à l'aide de l'arc voltaïque dans un récipient vide d'air, ce physicien obtint, au bout de plusieurs mois, quelques grains d'une poussière ténue qui brillait et qui, mélangée avec de l'huile, usait le diamant. C'était bien du diamant. Les savants applaudirent, mais aucun des industriels qui emploient le diamant, ni le joaillier, ni le vitrier, ni l'opticien, ni le constructeur de machines à forer les roches ne pouvait trouver là son compte ; car la difficulté et la cherté de l'opération, et plus encore l'infime petitesse des échantillons obtenus, rendaient impossible toute application du procédé, sans que rien indiquât qu'on pût l'améliorer.

M. Moissan, ce même chimiste qui le premier a isolé le fluor en 1886, qui le premier aussi a obtenu depuis le bore pur, vient d'annoncer à l'Académie des Sciences, le lundi 6 février, qu'il a reproduit artificiellement le diamant; le 20 il a fait une seconde communication sur le même sujet.

Au lieu de s'adresser à la volatilisation comme Desprez, M. Moissan a eu recours à la dissolution et à la compression associées: la dissolution du carbone sans compression, telle qu'elle se produit dans la fonte de fer, ne donne en effet que du graphite. Voici en deux mots le principe de sa méthode.

Dans un petit four en chaux vive garni d'une brasque de charbon de sucre et chauffé par un arc voltaïque éclatant entre des crayons de charbon reliés aux pôles d'une machine dynamo-électrique, il fait fondre une petite masse d'argent de la grosseur d'un œuf; l'argent porté à la température de l'ébullition (3000 degrés environ) dissout un peu de charbon; la masse, une fois saturée de carbone, est plongée brusquement dans l'eau froide, sa surface se solidifie et constitue une enveloppe très résistante où se trouve enfermée la partie centrale encore en fusion. Or, l'argent en se refroidissant augmente de volume; la partie centrale emprisonnée avant son refroidissement dans une enveloppe exactement moulée sur elle, subit pendant le refroidissement, de la part de cette enveloppe, une véritable contrainte, une compression énorme, pendant que le charbon qui y était dissous se sépare du dissolvant. Qu'on brise enfin le culot métallique, qu'on le dissolve à son tour, et il reste . . . de la poussière de diamant, des cristaux microscopiques de diamant.

Les cristaux formés dans ces expériences offrent l'aspect des diamants noirs du Cap,[5] dits *carbonados*, et leur densité est inférieure à celle du diamant proprement dit; mais en se servant du fer comme dissolvant, et en modifiant un peu les conditions de l'expérience, M. Moissan a obtenu quelques

petits cristaux incolores et assez limpides. Oh! pas beaucoup, chaque opération quand elle réussit, n'en donne guère qu'un milligramme. M. Moissan a pourtant pu reconnaître, dans ces cristaux microscopiques, la dureté, la réfringence, les stries et les inclusions triangulaires caractéristiques du vrai diamant. D'ailleurs, la chimie a donné son contrôle souverain. Six milligrammes de la poussière cristalline se sont convertis par la combustion en acide carbonique, avec un léger résidu de cendres.

M. Friedel, à la suite de la communication de M. Moissan, a annoncé qu'il poursuivait des recherches dans le même

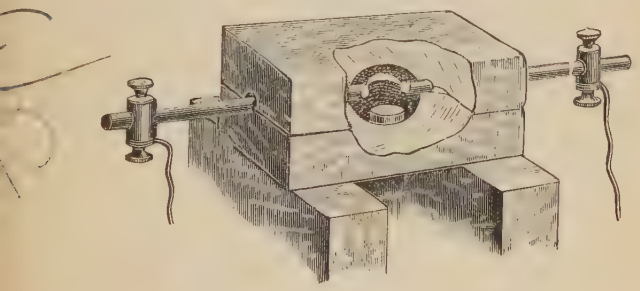


FIG. 30.

but, mais par une voie différente, s'inspirant de la découverte du diamant carbonado dans le fer météorique de Cañon Diablo.[6]

La méthode sera-t-elle féconde? Les milligrammes du laboratoire des Arts et Métiers[7] deviendront-ils, dans l'industrie, des kilogrammes? L'avenir le dira.

Qu'adviendrait-il alors de la précieuse pierre? Garderait-elle intact, par ses seules qualités propres, le prestige dont elle a joui à travers âges? Serait-elle encore recherchée pour ses seuls feux, par les puissants, les riches et les belles, comme le joyau le plus digne de rehausser leur gloire, de symboliser leur fortune, d'auréoler[8] leurs charmes? Sa

rareté n'est-elle point, autant que son éclat, le véritable objet des convoitises qu'elle excite? Il me semble voir les crésus de l'avenir jeter avec colère ces insignes, démodés par la vulgarisation, d'une puissance déchue, et les femmes elles-mêmes moins fascinées par les scintillations devenues banales, plus conscientes de ce qui fait dans l'humanité la véritable grandeur, renoncer à ce vain subterfuge de la parure, vestige tenace de l'antique sauvagerie; rechercher la beauté dans la santé, n'envier d'autres joyaux que deux beaux yeux où se reflète la lueur exquise d'une vive intelligence et d'un cœur délicat.

Quel beau spectacle ce serait de les voir se rendre en foule aux laboratoires et aux ateliers pour y déposer en offrande, à la science et à l'industrie, les bijoux offerts jadis à leurs frivoles aïeules par d'audacieux brasseurs d'affaires.[9] Des savants ravis feraient avec le diamant des lunettes et des microscopes d'une puissance merveilleuse pour sonder l'infini de l'espace et les infiniment petits. Des ingénieurs désintéressés en armeraient le tranchant de gigantesques machines pour percer les isthmes et fouiller les profondeurs de la terre sans dépouiller les humbles et pour le bien-être de tous. S'il y a tout cela en germe dans votre découverte, monsieur Moissan, hâtez-vous, de grâce, de l'en faire sortir!

XL. APPLICATION DE LA FORCE DU VENT A L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

Une application intéressante, sinon par ses résultats pratiques, du moins au point de vue technique, a été faite par l'électricien bien connu, M. Brush, à Cleveland (Ohio). Il s'agit de l'utilisation de la force du vent pour l'éclairage électrique. L'emploi des forces naturelles (vent, chutes

d'eau, marées) pour l'éclairage électrique a été préconisé par un grand nombre d'inventeurs ; mais il faut nécessairement avoir une batterie d'accumulateurs pour emmagasiner l'électricité produite, lorsque les forces naturelles sont disponibles et seulement à ces moments, car ces forces, qui en théorie ne coûtent rien, sont fort capricieuses. M. Brush a donc voulu se rendre compte de la praticabilité du problème, et il a installé dans sa résidence une tour rectangulaire (Fig. 32) de 18 mètres de hauteur montée sur un arbre en fer forgé pénétrant de $2^{m},40$ dans un massif de maçonnerie noyé dans le sol et dépassant la surface du terrain de $3^{m},60$.

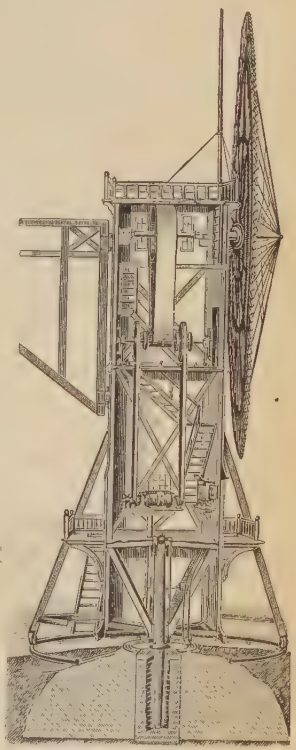


Fig. 31. — Coupe longitudinale de la Tour.

Cette tour, qui pèse 35 tonnes, pivote donc autour de l'arbre en question ; des madriers obliques, fixés à chacun des angles de la tour, à mi-hauteur de la charpente, sont pourvus de galets à leur extrémité inférieure, et ces galets s'appuient sur une voie circulaire lorsque le vent souffle avec force. On soulage ainsi l'arbre central, et on assure la stabilité de l'appareil en cas de vent violent et pendant sa rotation. La tour porte une turbine à vent dont l'arbre commande par courroies, et au moyen d'une transmission intermédiaire, la dynamo placée à l'étage inférieur (Fig. 31). La turbine atmosphérique a un

diamètre de 16m,85 ; elle porte 144 lames et offre au vent une surface de 162 mètres carrés ; le gouvernail a 18 mètres de longueur, 6 mètres de hauteur, et la rotation de la tour pour l'orientation de la turbine s'exécute automatiquement à l'aide d'une girouette auxiliaire qui se projette, dans le dessin, sur l'une des faces latérales.

La dynamo est montée sur un bâti mobile verticalement

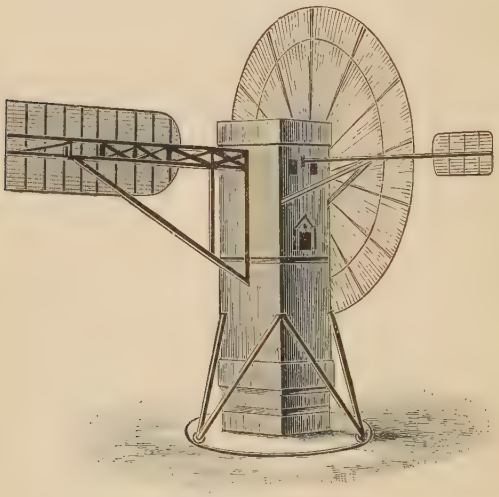


FIG. 32. — Vue extérieure de la Tour.

dans des glissières et parfaitement équilibré par un levier à contrepoids. Le rapport des vitesses entre la turbine et les dynamos est de $\frac{1}{50}$; la dynamo marche en pleine charge à 500 tours par minute et produit 12,000 watts.

Le courant électrique est envoyé dans des accumulateurs, au nombre de 408, répartis en 12 batteries de 34 chacune. Ces 12 batteries se chargent et se déchargent en quantité. Chaque accumulateur a une capacité de 100 ampères-heure. Il faut, bien entendu, tout un système d'embrayages auto-

matiques qui permettent à la dynamo de se mettre en marche pour une vitesse déterminée : un régulateur automatique empêchant la tension de s'élever au delà d'une certaine limite, à quelque vitesse que tourne la machine ; des systèmes ouvrant le circuit d'utilisation à une tension déterminée et le fermant quand cette tension dépasse une limite fixée à l'avance ; etc., etc. Mais ce sont là des détails d'exécution dans lesquels il nous paraît inutile d'entrer.

La turbine atmosphérique que nous venons de décrire, la dynamo et les accumulateurs desservent 250 lampes à incandescence de 10 à 50 bougies. Une centaine de lampes sont allumées chaque jour, et l'installation fonctionne avec succès depuis deux ans déjà. Voici donc une application intéressante qui prouve bien que l'on peut se servir du vent comme force motrice pour faire de l'éclairage électrique. Reste à savoir si la complication de l'installation n'entraîne pas à une dépense de premier établissement dont les intérêts et l'amortissement atteignent ou dépassent même le coût annuel d'un éclairage équivalent reposant sur l'emploi d'une machine à vapeur.

XLI. LES NOUVELLES RECHERCHES SUR LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-CAPILLAIRES.

Une des plus brillantes conquêtes de la physique, dans ces vingt dernières années, a été la découverte et l'étude des phénomènes électro-capillaires. C'est à M. Lippmann que l'on doit cet ensemble de travaux, qui ont été la base de la plupart des recherches faites depuis lors en électricité. Grâce à son électromètre capillaire, en effet, les mesures exactes des résistances liquides sont aujourd'hui chose facile, et sans lui, peut-être, aucun des travaux relatifs à la polarisation et aux électrolytes n'aurait pu aboutir.

Polarisation des électrodes. — Rappelons d'abord le principe fondamental à l'aide duquel on explique tous ces phénomènes.

Tout le monde sait que, quand un courant électrique passe à travers une dissolution d'un sel métallique, le sel est décomposé ; le métal est mis en liberté (Fig. 33), il se dépose sur l'électrode B *attachée au pôle négatif* de la pile P, de sorte que le métal semble *transporté par le courant*, tandis que l'acide reste dans la liqueur. Ainsi, si c'est dans une solution de sulfate de zinc que le courant pénètre par deux lames de platine A et B, une couche de zinc Z recouvrira l'électrode négative B et il restera, dans la liqueur, de l'acide sulfurique.

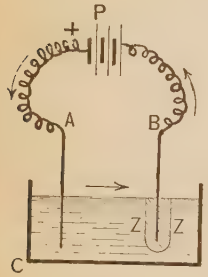


FIG. 33.

Take off.

Cela fait, supprimons la pile et réunissons par un fil conducteur les deux électrodes A et B (Fig. 34). L'électrode B, recouverte de zinc, et l'électrode de platine A, plongeant dans l'acide sulfurique rendu libre dans la liqueur, constituent une pile dont B est le pôle négatif ; on voit donc que le conducteur sera traversé par un *courant secondaire*, de sens contraire au courant primitif.

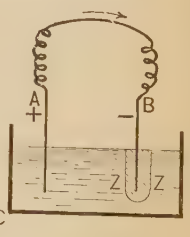


FIG. 34.

Ce phénomène se produit dans toute décomposition d'un liquide par le courant ; il porte le nom de *polarisation des électrodes*. Deux électrodes polarisées produisent donc une *force électromotrice*, et il faut commencer par vaincre cette force électromotrice pour décomposer le liquide. Pour l'eau, cette force électromotrice est de *1 volt 48 ;* tout courant destiné à décomposer l'eau devra donc avoir une force électromotrice supérieure à 1 volt 48 : on voit qu'il sera impossible de décomposer de l'eau avec un

seul élément Daniell, dont la force électromotrice n'est que de 1 volt.

Constante capillaire. — Après avoir rappelé ce que c'est que la polarisation nous allons dire ce qu'on entend par "constante capillaire."

Aujourd'hui on considère (et ceci est basé sur des faits d'expérience) la surface des liquides comme une membrane tendue, exerçant une pression sur le liquide sous-jacent.

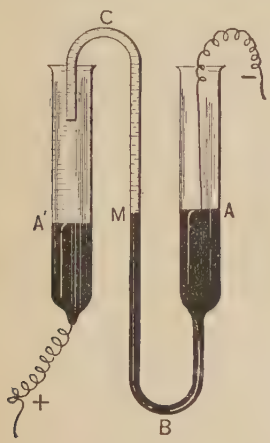


FIG. 35.

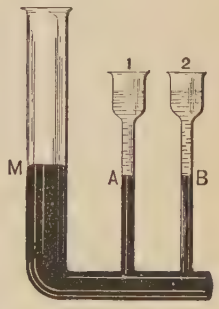


FIG. 36.

Cette *tension superficielle* s'appelle aussi la *constante capillaire* et est caractéristique de chaque liquide.

C'est à la valeur plus ou moins élevée de cette constante que tient l'ascension naturelle, plus ou moins grande, des différents liquides dans les tubes fins.

Phénomènes électro-capillaires. — Puisque la constante capillaire est une propriété caractéristique de la *surface terminale* des liquides, et que, d'autre part, la polarisation des métaux n'affecte que leur surface, on doit s'attendre à ce que la polarisation d'une électrode faite de mercure ait de l'influence

sur la constante capillaire de ce métal et la modifie. C'est pour mettre ce fait en évidence que M. Lippmann a institué l'expérience fondamentale suivante :

Un tube ABC (Fig. 35) deux fois recourbé, contient du mercure. L'extrémité C du tube fixe qui le termine plonge dans de l'eau acidulée qui recouvre une autre masse de mercure placée en A'. La section des vases A et A' était considérable relativement à celle du tube BC. Cela fait, si l'on met le mercure A en communication avec le pôle négatif d'une pile dont le pôle positif communique avec le mercure B, le mercure baisse en M dans le tube capillaire ; mais si l'on réunit métalliquement les mercures A et A', le ménisque M reprend son niveau primitif.

La polarisation permet d'expliquer cette remarquable expérience. Il faut fournir une certaine quantité d'énergie pour polariser la petite surface de mercure en M, tandis que la grande, en A', ne se polarise pas sensiblement. L'expérience montrant qu'une force électromotrice produit une dénivellation, on doit en conclure que la *tension superficielle* de mercure en M a augmenté avec cette force électromotrice.

M. Lippmann a étudié la variation de la constante capillaire avec la force électromotrice, et a constaté qu'elle était représentée graphiquement par une parabole.

Mais, ce qu'il y a de plus intéressant, c'est que la variation que subit la constante capillaire du mercure, en présence de divers liquides, sous l'influence de la force électromotrice *est indépendante de la nature de ces liquides et ne dépend que de la grandeur de la force électromotrice mise en jeu.*

Tout récemment, M. Gouy avait cru pouvoir infirmer[1] cette loi et restreindre ainsi la généralité de l'énoncé de M. Lippmann; il avait, en particulier, signalé des écarts notables pour la potasse et l'iodure de potassium. M. Berget a fait différentes expériences qui confirment, au contraire, une fois de plus, la généralité de la loi de M. Lippmann.

Il a pris un gros tube M (Fig. 36), communiquant avec deux tubes capillaires très fins, A et B, rigoureusement de mêmes diamètres. Dans ces conditions, les niveaux sont les mêmes en A et en B. Mais si l'on met au-dessus du mercure A de la potasse, au-dessus du mercure B de la potasse contenant une trace d'iodure de potassium, les niveaux ne sont plus les mêmes. Si la loi de M. Lippmann est exacte, l'égalité des niveaux doit se rétablir dès que l'on fait communiquer électriquement les deux liquides 1 et 2 à l'aide d'un siphon capillaire: c'est en effet ce qu'on a observé dans tous les cas. La loi de M. Lippmann est donc générale.

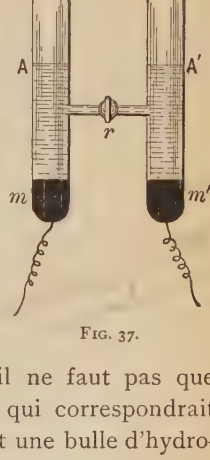


Fig. 37.

Retard à l'Électrolyse. — Dans ces derniers temps, M. Pellat a attiré l'attention des physiciens sur un fait intéressant, observé dans l'étude des phénomènes électro-capillaires.

Revenons à la Fig. 35. Quand on produit une force électromotrice entre les mercures A et A′, il y a dénivellation du mercure en M ; le phénomène s'accuse et varie en même temps que la force électromotrice : toutefois, en principe, il ne faut pas que cette force électromotrice dépasse celle qui correspondrait à 1 volt 4,* car alors l'eau se décompose et une bulle d'hydrogène doit apparaître dans le tube capillaire.

Néanmoins, cette bulle n'apparaît pas immédiatement ; elle subit un *retard* assez considérable pour qu'on puisse, par une pression convenable, ramener le mercure M à son niveau primitif. L'électrolyse a donc subi un arrêt.

On a aussitôt essayé d'expliquer cet arrêt en invoquant la

* Le *volt* est à peu près la force électromotrice d'un élément de pile Daniell.

formation d'un hydrure de mercure, alliage de l'hydrogène et du métal des électrodes, dont la formation aurait exigé un certain temps. M. Lippmann a mis à néant cette hypothèse par l'expérience suivante (Fig. 37).

Deux récipients A et A′ communiquent l'un avec l'autre par un tube étroit, muni d'un robinet *r*. Tous deux contiennent du mercure, *m m′*, surmonté d'une couche d'eau acidulée. On fait barboter[2] en A de l'hydrogène ; on mesure une certaine force électromotrice entre *m* et *m′* ; désignons cette force électromotrice par *e*. On remplace l'hydrogène par un gaz inerte, l'acide carbonique par exemple ; on a alors une autre force électromotrice *e′*. Enfin on sature l'un des deux côtés d'hydrogène, l'autre d'acide carbonique. La force électromotrice E que l'on observe dans ce cas a toujours été trouvée égale à *e-e′*. Il ne s'est donc formé aucun alliage de mercure et d'hydrogène.

M. Lippmann propose une autre théorie de la polarisation galvanique.

Il remarque que tout système dont la destruction exige du travail est essentiellement un système déformable. Il est donc mathématiquement nécessaire que la molécule composée *se déforme* sous l'action des forces électriques, semblable en cela à un ressort qui fléchit avant de rompre, sous l'action des forces capables de la briser.

Coefficient de température de l'électromètre capillaire. — Il y avait lieu de se demander si les indications de l'électromètre capillaire variaient avec la température et quelle était cette variation. L'appareil de la Fig. 37 se prête admirablement à cette étude.

En effet, les deux acides A et A′ communiquant par le robinet ouvert *r*, si l'on vient à chauffer l'un des deux mercures en maintenant l'autre à température constante, on constitue une pile thermo-électrique, dont il suffira de connaître la force électromotrice entre deux températures

déterminées pour avoir la variation du zéro de l'électromètre capillaire avec la température.

Ces expériences ont été faites par M. Berget et par M. Lucien Poincaré: elles ont fourni le même nombre $\frac{1}{800}^{e}$ par degré.

Étalon capillaire de force électromotrice. — La constance des indications de l'électromètre capillaire, à une température donnée, permet d'en faire un étalon de force électromotrice simple et précis : une force électromotrice déterminée et équilibrée, sur l'instrument, par une pression donnée. Donc, inversement, en établissant à l'avance cette pression au-dessus du tube fixe, l'écoulement aura lieu, et ne cessera que lorsque la force électromotrice de polarisation atteindra la valeur fixée.

On a ainsi l'avantage d'avoir un étalon qui peut reproduire une fraction quelconque et déterminée du volt, variable à volonté suivant les besoins de l'expérience, tandis que les étalons ordinaires ne fournissent qu'une seule et unique force électromotrice. C'est là une application nouvelle et intéressante des phénomènes si remarquables découverts par M. Lippmann.

XLII. LES CONSTRUCTIONS URBAINES AUX ÉTATS-UNIS.

M. Stévart a donné dans la *Revue universelle des Mines* (avril 1892) d'intéressants renseignements sur les constructions urbaines aux États-Unis d'Amérique. Contrairement à une opinion assez générale, les maisons particulières ne sont qu'à deux ou trois étages. Leurs façades sont principalement en grès, en calcaire ou en marbre, parfois très orné. La disposition des maisons diffère par plusieurs caractères des maisons européennes. Ainsi, les escaliers conduisant au premier étage sont ordinairement d'une volée; il n'y a pas de demi-étage. A New-York, le rez-de-chaussée

est assez élevé au-dessus de la rue, de sorte que le soubassement est parfaitement habitable pour les familles. Généralement, la salle à manger se trouve dans le sous-sol ; au rez-de-chaussée sont les salons et à l'étage les chambres à coucher ou des bibliothèques. L'escalier qui conduit de la rue au rez-de-chaussée est en quelque sorte éloigné du reste; il est jeté sur une espèce de trou de loup qui se trouve entre la maison placée en retrait[1] et le trottoir. Cet escalier joue le rôle du balcon dans les habitations européennes.

Toutes les maisons ont des installations spéciales pour le cas d'incendie, surtout dans le centre aggloméré de la ville. Les maisons à trois ou quatre étages ont des échelles se succédant de balcon en balcon. Ces balcons à claire-voie[2] ne sont là que pour le cas d'incendie, et même dans les principales avenues ils sont reportés derrière les maisons.

Il existe, il est vrai, dans quelques villes américaines, des maisons très élevées, mais ce sont des exceptions ; elles donnent lieu à des procédés de construction spéciaux, et elles sont pour la plupart affectées à des magasins et à des bureaux.

A titre d'essai,[3] on a érigé à New-York deux maisons à onze étages, construites dans l'intention d'en faire des sortes de phalanstères[4] où on peut louer des appartements riches dont le loyer atteint 12,500 francs par an. Dans la même maison se trouve une cuisine commune à tous et un restaurant central ; on peut manger chez soi ou dans la salle du restaurant. L'usine qui sert au chauffage et à l'éclairage de la maison est également commune ; la chaleur et la lumière sont comprises dans le prix du loyer. Mais cet essai n'a pas réussi.

M. Stévart donne quelques détails sur la construction de maisons d'une hauteur exceptionelle. Il cite en premier lieu une maison de New-York, appelée "Pulitzer Building," qui est l'imprimerie du journal *The World* et qui a vingt-

deux étages, tous très élevés. Les murs de façade ont $4^{m},50$ d'épaisseur à la base et conservent encore $0^{m},60$ d'épaisseur au sommet du bloc prismatique qui forme les douze premiers étages. Des colonnes en fer, noyées dans les maçonneries, supportent le poids des planchers. Il est entré[5] 2300 tonnes de fer dans la construction de ce bâtiment.

Un autre bâtiment colossal existe à Philadelphie ; c'est la

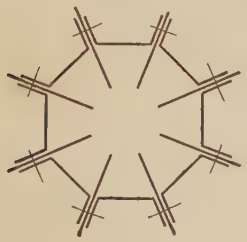


FIG. 38.

FIG. 40.

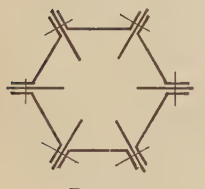


FIG. 39.

FIG. 41.

maison de banque Drexel. Cette construction a dix étages ; quatre ascenseurs desservent tout l'établissement ; deux sont des express, ils ne s'arrêtent pas avant le septième étage. La maison contient, outre les bâtiments de la banque et la salle de la Bourse qui lui fait pendant,[6] quatre cents bureaux loués à des hommes d'affaires.

A tous les étages il y a des cabinets de toilette, des lavabos, des urinoirs, établis dans des conditions irréprochables de salubrité.

L'éclairage se fait simultanément au gaz et à l'électricité. Celle-ci est produite dans les sous-sols où se trouve une véritable usine. Quatre chaudières de 6 mètres de long fournissent la vapeur à une machine de 100 chevaux, qui actionne les dynamos pour la lumière électrique et les appareils à pompes pour desservir les ascenseurs, dont le mouvement est obtenu par des pistons hydrauliques qui manœuvrent des poulies mouflées sur lesquelles sont tendus des câbles d'acier. Un seul des câbles est tendu de manière à porter la charge ; le second a seulement la tension suffi-

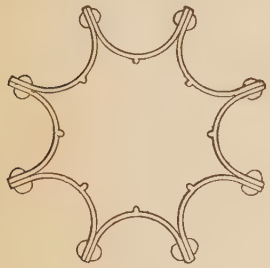


FIG. 42.

FIG. 43.

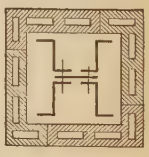


FIG. 44.

sante pour reprendre cette charge dans le cas où le premier câble viendrait à se rompre. Ces chaudières fournissent encore la vapeur aux pompes qui font l'alimentation d'eau et le chauffage de l'édifice.

Ce chauffage se fait par radiateurs. On chauffe avec la décharge de la machine, et la chaufferie joue le rôle de condenseur ; en effet, on a 2 pouces de mercure de moins que la pression atmosphérique, à cause de la condensation qui se produit dans toute la chaufferie. Du soubassement où se trouvent les chaudières et les machines, le tuyau de décharge monte directement jusqu'au-dessus du toit. La vapeur redescend alors en chauffant isolément chaque radiateur. Celui-ci se compose d'une série de tubes verticaux

reliés entre eux à la partie supérieure et inférieure avec un robinet d'entrée et un robinet de sortie. A tous les étages se trouve dans chaque bureau un radiateur semblable alimenté par le courant de vapeur descendant. Chacun peut ainsi, en tournant un robinet, intercepter le courant de vapeur et régler le chauffage suivant sa volonté. A la partie inférieure, les eaux de condensation sont réunies, et là se trouve l'évacuation de l'air, qui tend à gagner le bas à cause de sa densité supérieure à celle de la vapeur. Ce n'est que dans les froids exceptionnels qu'on est obligé d'envoyer de la vapeur vive dans les radiateurs.

L'éclairage est obtenu par des machines et des dynamos. Deux mille lampes de seize bougies sont distribuées dans l'ensemble du bâtiment. La distribution part d'une petite salle qui se trouve dans le centre du sous-sol et qui est occupée par un machiniste disposant de tout l'éclairage commun et de l'éclairage des bureaux. Chacun de son côté dispose de l'éclairage de ses propres locaux et peut intercepter. Sur la plate-forme qui constitue le toit sont disposés quatre ventilateurs puissants, mis en mouvement par une petite dynamo, et qui aspirent l'air vicié des bureaux. La distribution est telle que tous les canaux descendants se distribuent à tous les étages dans les bureaux, sans que ces canaux communiquent entre eux. Les canaux sont isolés afin que, d'un bureau, on ne puisse pas entendre ce qui ce dit dans un autre. Chaque bureau a son ouverture d'air et un canal spécial qui monte jusqu'aux ventilateurs sur le toit.

Les nombreux fils téléphoniques qui arrivent de l'extérieur par le toit descendent dans la partie centrale du bâtiment en abandonnant à chaque étage un certain nombre de circuits. Les distributions électriques qui donnent la lumière et qui viennent des sous-sols ont une disposition inverse. Tous ces appareils, gaines de ventilation, fils électriques,

etc., sont enfermés dans des enveloppes de bois placées contre les murs et concourant à l'ornementation.

Dans la construction dont il s'agit il y a l'eau de la ville, l'eau de puits recueillie par des pompes et foulée dans des réservoirs placés au-dessus de la maison, et enfin l'eau de pluie recueillie sur le toit qui offre une surface considérable en plate-forme. Cette eau sert à l'alimentation des chaudières ; l'eau des puits sert à la manœuvre des ascenseurs et aux usages domestiques autres que l'alimentation ; enfin l'eau de la ville sert à l'alimentation. Les réservoirs, au nombre de seize, placés côte à côte dans les combles, sont

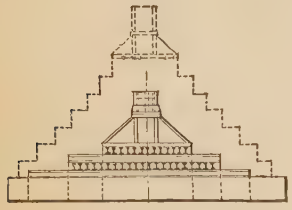


FIG. 45.

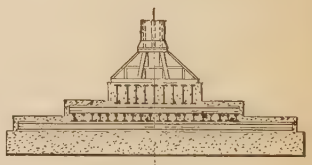


FIG. 46.

reliés entre eux par des vannes, de sorte qu'en cas d'incendie l'eau de tous les réservoirs peut être versée à chacun des dix étages par trois lances toujours prêtes à fonctionner.

Le bâtiment occupe 17,200 mètres carrés ; la surface de façade est de 11,000 mètres carrés, dont 3300 pour les portes et les fenêtres.

M. Stévart donne ensuite quelques détails sur l'Auditorium de Chicago, dont on a donné une description et une vue d'ensemble[7] dans la *Revue Encyclopédique* (1891, n° 998), indiquant en même temps les procédés particuliers de construction employés pour les fondations, à cause de la nature du sol. Ce sol est constitué jusqu'à 60 ou 80 mètres de profondeur par de l'argile entrecoupée de bancs de gravier renfermant beaucoup d'eau ou de sables boulants. Le pro-

cédé habituel des pilotis ne donne pas de bons résultats, et il a fallu s'arranger de manière à donner aux murs et aux piliers d'assise une très grande base d'appui sur cette argile qui ne peut porter avec sécurité plus de 1,5 à 2 kilogrammes par centimètre carré.

Ces piliers de fondations à large base sur lesquelles viennent s'asseoir les colonnes, qui doivent porter dix, quinze ou vingt étages, ont un volume énorme, et leurs assises successives, en retrait les unes sur les autres,[8] vont encombrer l'espace réservé aux sous-sols, si nécessaires dans ces constructions pour y loger les machines et les chaudières. On a alors imaginé de faire ces bases de fondations en métal, d'abord en vieux rails expédiés d'Europe, puis en rails neufs et même en hautes poutrelles destinées à donner à la large base un *moment* d'inflexibilité très grand.

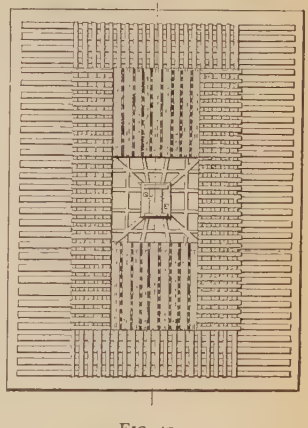


FIG. 47.

Les Fig. 45, 46 et 47 montrent comment, sur une première assise de béton, on couche une série de rails jointifs noyés dans le ciment et recouverts d'une deuxième et d'une troisième rangée de rails croisés et dont les dimensions vont en diminuant jusqu'à la base de la colonne métallique. Souvent la dernière assise est formée de lourdes et hautes poutrelles d'acier (Fig. 47) pesant jusqu'à 150 kilogrammes par mètre.

Le profil pointillé qui enveloppe le croquis (Fig. 45) est celui du massif de maçonnerie auquel la fondation métallique se substitue. On y voit clairement la réduction obtenue dans le volume encombrant des fondations.

Ces dispositions offrent de nombreux avantages en outre de celui, si essentiel, de réduire l'espace occupé dans les sous-sols : économie sur le coût de la construction, sur le temps employé à la construction, réduction du poids dont l'argile est chargée.

La carcasse métallique de ces énormes constructions, colonnes, poitrails, planchers, s'élève progressivement jusqu'au huitième ou douzième étage avant qu'une seule pierre des façades soit arrivée sur place. Les murs ne sont plus qu'une seule enveloppe à laquelle on ne fait rien porter ; toute la charge est prise par les colonnes métalliques, partout noyées (Fig. 44), ainsi que les poutrelles de planchers, dans une maçonnerie de briques creuses, avec interposition d'une couche d'air, destinée à les préserver de l'action du feu en cas d'incendie du mobilier d'une chambre ou des marchandises d'un magasin.

FIG. 48.

Les idées des architectes-ingénieurs d'Amérique diffèrent du tout au tout[9] de celles des architectes européens en ce qui concerne l'emploi du fer dans les constructions civiles.[10] En Europe on tire parti de l'emploi du métal pour l'ornementation des longerons des fermes et des croisillons ; on accuse[11] franchement les destinations diverses des pièces métalliques. En Amérique, au contraire, les architectes préservent de l'action des flammes la gigantesque ossature de leurs édifices où nulle part le métal n'apparaît à la surface. Les colonnes sont formées de fers assemblés ainsi que le montrent les Figs. 38 à 43. Les fers de planchers sont des poutrelles ordinaires en acier d'au moins $0^{m},30$ de hauteur, placées à une distance de plus de 2 mètres les unes des autres.

FIG. 49.

Enfin le caractère américain est essentiellement pratique. On commence par établir des constructions provisoires dans les pays qui commencent, plus tard on les remplace par du provisoire encore, mais plus complet, et tout cela fait place au définitif quand la Cité a atteint son développement complet. Grâce à cette méthode, l'Américain fait tout ce qu'il faut pour être de suite en possession des choses dont il a besoin dans toutes les circonstances où il se trouve.

XLIII. L'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE.

LANGAGE. — PRODUCTION. — DISTRIBUTION.

Nous sortirions du cadre qui nous est tracé en cherchant à pénétrer la nature intime du mode spécial de mouvement qui caractérise les phénomènes électriques et les différencie des autres modes de mouvement. Pour en comprendre les effets, nous aurons recours à une analogie qui, pour n'être pas rigoureuse en tous ses points, en donne rapidement une conception suffisamment nette.

Cette analogie consiste à assimiler la circulation d'un courant électrique dans un fil à la circulation d'un courant d'eau dans une conduite. L'eau circule en vertu d'une pression initiale à laquelle on donne le nom de différence de potentiel et que l'on mesure en *volts*. La cause de cette différence de potentiel se nomme *force électromotrice*. Un générateur électrique est dans un appareil dans lequel est engendré une force électromotrice, ou, comme on le dit souvent aujourd'hui, une *pression électrique*. L'eau circule dans une conduite avec une certaine vitesse et fournit un certain débit que l'on mesure, en hydraulique, en litres par seconde. Le facteur équivalent d'une circulation électrique est l'*intensité du courant*, ou, par abréviation, le *courant;* il se mesure en *ampères*. Le débit multiplié par le temps

donne, en hydraulique, le volume d'eau débité. De même, en électricité, le produit de l'intensité du courant par le temps donne la *quantité d'électricité*, qui a pour unité de mesure le *coulomb*,[1] ou quantité de l'électricité qui traverse un conducteur en une seconde, lorsque l'intensité du courant est d'un ampère. Cependant, le coulomb, ou ampère-seconde, n'est généralement pas employé en pratique, car l'unité industrielle de temps est l'heure, et non pas la seconde. On mesure donc les quantités d'électricité en *ampères-heure*. L'ampère-heure est la quantité d'électricité débitée en une heure, ou 3600 secondes, par un courant dont l'intensité est d'un ampère ; l'ampère-heure vaut donc 3600 coulombs.

Pour une pression donnée, le débit sera d'autant plus intense que le tuyau par lequel l'eau s'écoule sera plus gros et plus court, qu'il offrira moins de *résistance* à l'écoulement de l'eau. De même, en électricité, nous aurons à faire intervenir[2] la résistance du conducteur au passage du courant, résistance qui dépendra de la nature du conducteur, de sa longueur et de sa section. Cette résistance se mesure en *ohms*, du nom du savant allemand qui, le premier, a formulé, en 1827, la loi reliant les trois principaux facteurs d'une circulation électrique : force électromotrice, intensité du courant et résistance, loi qui s'énonce ainsi :

"L'intensité d'un courant est proportionnelle à la force électromotrice qui agit dans un circuit électrique et inversement proportionnelle à la résistance de ce circuit."

Il nous reste, pour compléter ces indispensables notions techniques, à dire encore un mot de la puissance et de l'énergie d'un courant électrique.

La puissance d'une chute d'eau a pour valeur le produit de la hauteur de chute par le débit ; de même, en électricité, la puissance électrique produite par un générateur électrique, ou la puissance absorbée par un appareil d'utilisation,

a pour valeur le produit de la pression électrique ou force électromotrice qu'il produit par le débit ou l'intensité du courant. La puissance d'une chute se mesure en kilogrammètres par seconde, la puissance électrique se mesure par le produit du volt et de l'ampère, le volt-ampère ou *watt*.[3] Le watt vaut sensiblement un dixième de kilogrammètre par seconde. Le kilogrammètre par seconde vaut exactement, à Paris, 9,81 watts. Le cheval-vapeur, ou cheval, est égal à 75 kilogrammètres par seconde, et correspond donc à 736 watts.

Enfin, et pour terminer cette nomenclature un peu aride, le produit de la puissance par le temps constitue, en mécanique, le travail, et, en électricité, l'*énergie électrique*. En mécanique, le travail se mesure en kilogrammètres et en chevaux-heures ; en électricité, l'énergie électrique se mesure en watts-seconde ou *joules*,[4] et, industriellement, en *watts-heure*, le watt-heure valant 3600 joules comme l'ampère-heure vaut 3600 coulombs.

Nous venons de dire que l'unité d'énergie électrique industrielle était le watt-heure. En réalité, ce sont deux unités cent ou mille fois plus grandes qui, sous le nom d'*hectowatt-heure* ou de *kilowatt-heure*, constituent les véritables unités industrielles d'énergie électrique. Le kilowatt-heure est égal à 1000 watts-heure et représente, en énergie électrique, le travail effectué par une puissance d'un cheval pendant une heure et un tiers environ. Rigoureusement, le cheval-heure vaut, à Paris, 736 watts-heure. C'est le kilowatt-heure qui est taxé à l'abonné d'une distribution d'énergie électrique, à un prix variant, suivant les circonstances locales, entre 35 centimes et 1 franc 50.

C'est l'énergie électrique qui constitue la véritable marchandise, au même titre que le gaz d'éclairage, l'eau sous pression, la vapeur ou l'air comprimé dans les autres systèmes de distribution.

L'énergie électrique est produite par transformation d'une forme quelconque de l'énergie : les générateurs d'énergie électrique se subdivisent en trois classes distinctes, suivant qu'ils transforment en énergie électrique une action d'affinité chimique, une quantité de chaleur ou un travail mécanique.

Les générateurs électriques, fondés sur les actions chimiques ou *piles hydro-électriques*, n'ont plus aujourd'hui qu'une importance secondaire en dehors de la télégraphie, la téléphonie, les sonneries électriques, les signaux de chemins de fer, et quelques opérations électrochimiques peu importantes, partout où l'on n'a besoin que de courants de faible intensité, à intervalles irréguliers.

A moins d'une révolution possible, mais inattendue, dans les procédés de production directe de l'énergie électrique par affinité chimique, il ne semble pas que la pile puisse jamais constituer un générateur de grande puissance véritablement industriel.

La transformation de l'énergie thermique ou chaleur en énergie électrique constitue un problème séduisant en théorie, non résolu encore en pratique. Il semble, en effet, tout à fait illogique, au premier abord, de brûler du charbon sous une chaudière ou du gaz dans un moteur, d'utiliser cette vapeur ou ce gaz à la production d'un travail mécanique et de transformer ce travail mécanique en énergie électrique. Ne serait-il pas plus simple et plus économique de brûler ce charbon ou ce gaz dans un générateur approprié, une *pile thermo-électrique*, et d'en obtenir directement l'énergie électrique? Dans l'état actuel de nos connaissances, l'expérience répond catégoriquement : *Non.* C'est au travail mécanique que l'on s'adresse aujourd'hui presque exclusivement pour la production industrielle de l'énergie électrique.

Nous n'entreprendrons pas ici la description des générateurs mécaniques d'énergie électrique qui demanderait, à

elle seule, un gros volume ; nous nous contenterons de dire que tous ces générateurs sans exception sont fondés sur le principe de l'induction découvert par Faraday en 1830. L'induction se produit lorsqu'il y a déplacement relatif du champ magnétique produit par un aimant ou un électro-aimant, et d'une ou plusieurs bobines de fil de cuivre placées dans ce champ. Le système produisant le champ magnétique porte le nom d'*inducteur*, le circuit dans lequel naissent les courants constitue l'*induit*. Tous les générateurs mécaniques d'énergie électrique ont donc pour objet de produire le déplacement relatif de l'inducteur et de l'induit.

La plus grande partie du travail mécanique depensé pour produire ce déplacement se retrouve dans le circuit électrique sous forme d'énergie électrique ; le générateur est d'autant plus parfait que cette fraction, qui constitue le *rendement*, est plus grande.

Les progrès accomplis depuis une quinzaine d'années sont, à ce point de vue, des plus remarquables ; le rendement des générateurs électriques actuels dépasse souvent 95%. Il est bien supérieur à celui de la machine à vapeur qui ne rend, sur l'arbre, et pour les moteurs les plus perfectionnés, que moins de 90% de la puissance indiquée fournie par la vapeur sur les pistons.

La puissance des générateurs d'énergie électrique fort improprement appelés *dynamos* est, en quelque sorte, illimitée. Elle s'accroît chaque jour pour répondre à de nouveaux besoins, sans que cependant l'on éprouve la nécessité d'augmenter indéfiniment cette puissance. Dans bien des cas, en effet, il est préférable d'employer deux ou plusieurs machines travaillant parallèlement et mises successivement en marche ou arrêtées suivant les besoins. L'exploitation des tramways électriques et des grandes stations centrales de distribution ont conduit à construire des dynamos de 500 chevaux (375 kilowatts) ; il existe à Londres une dynamo

à courants alternatifs ou alternateurs, de près de 1000 kilowatts, et l'on étudie pour l'utilisation à distance de la puissance des chutes du Niagara des dynamos de 4000 kilowatts, plus de 5000 chevaux.

Les *transformateurs* d'énergie électrique sont des appareils qui ont pour but de modifier, de transformer les éléments caractéristiques de la puissance électrique fournie par un générateur, et de lui donner les qualités requises par les applications qu'elle doit recevoir.

Un *transformateur à courant continu* n'est pas autre chose, en principe, qu'un moteur électrique actionnant une dynamo. En modifiant convenablement les enroulements de la dynamo et du moteur, on arrive à modifier, dans le même rapport, les deux facteurs caractéristiques de la puissance électrique qui traverse l'appareil : force électromotrice et intensité.

Les *transformateurs à courants alternatifs* sont comme la bobine de Ruhmkorff, qui en est le prototype, fondés sur les phénomènes d'induction. Considérons un noyau de fer doux sur lequel sont roulées deux bobines distinctes, l'une d'elles ne renfermant que quelques spires de gros fil, l'autre un très grand nombre de spires de fil fin. En faisant passer un courant alternatif dans la bobine qui renferme le plus grand nombre de spires, celle-ci produira l'aimantation périodique du noyau de fer, dans un sens, puis dans l'autre, un très grand nombre de fois par seconde. Ce noyau, périodiquement aimanté, agira par rapport au gros fil comme s'il y avait déplacement relatif de la bobine et du noyau aimanté. Il naîtra donc, dans ce fil, des courants induits de tension moins grande que celle du courant inducteur qui leur donne naissance, parce que le nombre de spires est moins grand. Nous réduirons donc la force électromotrice induite dans un certain rapport qui constitue le *coefficient de transformation*. Si, par exemple, nous fournissons une

différence de potentiel de 2000 volts aux bornes du circuit primaire, et que le coefficient de transformation soit 20, nous recueillerons 100 volts dans le circuit induit ou secondaire.

Le transformateur joue donc ici le rôle inverse de la bobine de Ruhmkorff ordinaire, car il réduit la tension au lieu de l'augmenter. Mais cela ne change rien au principe même, puisqu'il suffit de modifier le rapport du nombre de spires pour modifier dans un sens ou dans l'autre le coefficient de transformation. Le rendement des transformateurs à courants alternatifs est remarquablement élevé. Il atteint 97 % à pleine charge dans les appareils les plus récents et reste très élevé, même pour de très faibles charges. Il ne semble pas possible d'améliorer ce rendement qui touche à la perfection ; les progrès futurs auront principalement pour objet de réduire le prix de construction de ces utiles auxiliaires.

Après avoir produit et transformé l'énergie électrique, il faut la *distribuer* et l'*utiliser*. Les applications de l'énergie électrique constituent deux groupes bien distincts, suivant qu'elles ont en vue une application industrielle spéciale pour laquelle on n'hésite pas à établir toute la machinerie nécessaire à la production de cette énergie, et celles où l'on utilise l'énergie électrique produite et distribuée par une usine centrale, à l'instar du gaz, de la vapeur, de l'eau sous pression et de l'air comprimé.

La première usine centrale électrique date seulement de 1882 ; on les compte aujourd'hui par milliers. Le développement de l'éclairage électrique par incandescence, son caractère populaire, son succès chaque jour grandissant doivent être attribués en grande partie à l'extension des usines centrales. Bien que très simple en apparence, le problème de la distribution économique de l'énergie électrique présente de grandes difficultés pratiques qui justifient

dans une certaine mesure l'énorme variété des systèmes proposés, expérimentés ou en service regulier qui en fournissent la solution. On peut même dire que chaque cas particulier impose une solution particulière la plus favorable pour le cas particulier envisagé.

Les systèmes de distribution se distinguent par la forme de l'énergie distribuée ainsi que par le procédé spécial de distribution. Au point de vue de la forme, on distribue l'énergie électrique par courants continus, par courants alternatifs, et même, par courants polyphasés, système récent plein d'avenir.

Au point de vue du procédé, il suffit de rappeler les conditions essentielles d'une distribution. Pour distribuer, il faut que chaque appareil d'utilisation, lampe, moteur, etc., puisse être mis en service ou arrêté à la volonté de l'abonné, par la simple manœuvre d'un interrupteur ou d'un commutateur, que la mise en service d'un appareil n'exerce qu'une action nulle, ou sensiblement telle, sur tous les autres appareils desservis par le même réseau. Un appareil donné absorbe une certaine puissance électrique représentée par la différence de potentiel ou pression électrique maintenue entre ses bornes, et l'intensité du courant qui le traverse. Pour donner satisfaction à la condition d'indépendance ci-dessus énoncée, nous avons donc deux moyens également efficaces en théorie :

1° Établissons sur la surface de la ville à desservir un double réseau de conducteurs entre lesquels l'usine centrale maintient, à l'aide de ses dynamos, une pression électrique constante et branchons tous les appareils en dérivation sur ce double réseau. Chacun d'eux reçoit donc une pression électrique déterminée et constante, choisie convenablement à l'avance, et se trouve traversé par un courant dont l'intensité ne dépend que de sa construction même. C'est le système connu sous le nom de *distribution à potentiel constant* ou système *en dérivation.*

2° Montons tous les appareils d'utilisation les uns à la suite des autres et en les faisant traverser par un courant d'intensité constante, maintenu tel à l'usine par des dynamos appropriées. Ce système, qui présente une grande simplicité, offre cependant un inconvénient grave, celui d'établir, de faire usage directement sur les appareils d'utilisation des tensions ou pressions électriques élevées, exigeant des isolements très soignés et pouvant présenter certains dangers en cas de contact accidentel d'un abonné avec l'un des fils; aussi ne s'est-il pas répandu pour la distribution proprement dite, en France tout au moins, où des règlements sévères à l'excès restreignent les entreprises hardies, ou simplement nouvelles. Par opposition au précédent, le système dont nous venons d'indiquer le principe est désigné sous le nom de *distribution à intensité constante.*

Lorsqu'il s'agit de distribuer à une faible distance, avec une densité de consommation très élevée comme cela a lieu dans le centre des grandes villes, on emploie tout simplement le double réseau de conducteurs dont nous venons de parler il y a un instant : la différence de potentiel fournie à l'abonné est généralement fixée à 110 volts. Ce potentiel n'a pas été pris au hasard ; il correspond aux conditions de bonne fabrication des lampes à incandescence et permet l'emploi de deux lampes à arc, en tension entre elles et en dérivation sur le réseau. Pour des courtes distances, la combinaison signalée ou distribution par réseau est suffisante : c'est celle que l'on retrouve, par exemple, pour l'éclairage d'un théâtre, d'un navire, d'un hôtel, d'une usine de dimensions moyennes, dans tous les cas où le rayon d'action reste inférieur à 400 ou 500 mètres. Lorsque le rayon s'accroît, le problème se complique, car le passage du courant dans les conducteurs, à moins que ceux-ci n'atteignent des dimensions économiquement prohibitives, entraîne à une perte non moins prohibitive. Dans ces condi-

tions, les abonnés les plus voisins de l'usine reçoivent une pression électrique plus grande que les consommateurs éloignés. Il en résulte des variations dont l'écart dépasse souvent les limites entre lesquelles ces variations peuvent être tolérées. On a alors recours à des artifices qui permettent de compenser ou d'atténuer ces variations. La description de ces artifices variés, et dont le nombre s'accroît chaque jour, nous entraînerait trop loin.

S'il s'agit de distribuer à de très grandes distances, on modifie alors complètement le principe même du système en effectuant le *transport* de l'énergie à potentiel élevé et faible intensité, tandis que la *distribution* se fait à bas potentiel et à faible pression. Les transformateurs à courants continus et à courants alternatifs dont nous avons parlé précédemment permettent de réaliser facilement cette transformation. Cette transformation s'impose, à cause des dangers qu'il peut y avoir pour les consommateurs à manipuler des appareils de haute tension, ainsi que par la construction même des appareils d'utilisation qui se prêtent mal — pas du tout dans certains cas — à cette utilisation.

Quant aux distances qu'un semblable système permet d'atteindre économiquement, elles sont techniquement à peu près illimitées ; elles ne le sont pratiquement que par des circonstances locales ou par des considérations économiques.

La distribution de l'énergie électrique en quantités indéfinies et les nombreux problèmes secondaires qu'elle soulève, au point de vue de la canalisation, de la mesure de l'énergie, de la tarification, etc., sont dès à présent résolues, si l'on se place au point de vue technique ; mais bien des progrès restent à accomplir au point de vue économique.

C'est ainsi, par exemple, que, dans l'état actuel, l'énergie électrique n'étant encore utilisée presque exclusivement qu'à l'éclairage, le matériel souvent considérable d'une usine

centrale n'est en service que quelques heures par jour ; les intérêts et l'amortissement de ce matériel grèvent donc lourdement l'énergie vendue. Bien des remèdes ont été proposés ou mis en œuvre pour triompher de ces difficultés d'ordre économique. On s'efforce de trouver des applications de jour pour la force motrice, le chauffage, la cuisine, etc. On cherche également à réduire le matériel générateur en le faisant travailler plus longtemps, en emmagasinant dans des accumulateurs le surplus de la production pendant les heures de faible consommation, en utilisant l'énergie ainsi emmagasinée pendant les heures de consommation maxima, et en arrêtant l'usine pendant la nuit, pour réduire les frais d'exploitation, les accumulateurs assurant le petit service, depuis l'heure de l'extinction presque générale, heure variable avec les habitudes locales, jusqu'au lendemain matin, dix heures ou midi.

Suivant les circonstances, il y aura lieu de donner la préférence à tel ou tel mode de transport à tel ou tel mode de distribution, sans que ce choix implique d'ailleurs, aucune supériorité d'un système sur l'autre, comme tendent trop souvent à le faire accroire les prospectus. Il y aurait lieu de terminer ces considérations générales relatives à la distribution de l'énergie électrique par quelques chiffres qui permettent de juger de ses progrès, mais il est impossible de dresser, même approximativement, cette statistique, en présence du développement sans précédent de ces stations centrales. On peut néanmoins affirmer qu'à la fin de l'année 1892 il y avait dans le monde entier, et rien que pour le service des stations centrales, une puissance de plus de *un million* de chevaux-vapeur exclusivement employés à la production de l'énergie électrique.

Pour conserver toute son éloquence à ce simple chiffre et juger des progrès accomplis, rappelons que la première usine centrale date de dix ans à peine.

Quant aux applications, elles sont illimitées ; le lecteur pourra se faire une idée de l'importance de celles déjà réalisées en parcourant ce supplément qui en résume l'état actuel, moins d'un siècle après la découverte immortelle de Volta !

XLIV. L'ÉLECTRICITÉ DANS LA MAISON.

L'ÉLECTRICITÉ étant maintenant produite industriellement dans presque toutes les grandes villes, et le courant électrique pouvant, par conséquent, être vendu aux habitants tout comme on vend le gaz, il est intéressant de passer en revue les applications de l'électricité dans la maison.

Usines. — Mais, auparavant, rappelons que l'électricité est produite dans des usines ou stations centrales contenant des chaudières, dont la vapeur fait tourner de puissants moteurs, qui, à leur tour, mettent en mouvement les dynamos produisant le courant électrique. Ce dernier est conduit dans les différentes rues par des câbles en cuivre isolés et renfermés dans des caniveaux placés sous les trottoirs.

A l'entrée de chaque immeuble il y a une boîte extérieure remplissant les mêmes fonctions que le robinet d'arrêt du gaz, et qui permet d'isoler complètement cet immeuble du reste du réseau. De la boîte, les conducteurs pénètrent dans la maison jusqu'au compteur, car, de même que le gaz, l'électricité est vendue au compteur. Mais tandis que celui-ci est facturé tant le *mètre cube*, l'électricité est vendue à tant le *watt*. Le compteur électrique doit donc indiquer la consommation en kilowatts (ou mille watts), en hectowatts (ou cent watts), et enfin en watts. Le *watt* est l'unité pratique d'énergie électrique, laquelle n'est autre chose que le produit du nombre d'ampères (ou de la quantité d'électricité) par le nombre de volts (ou pression sous laquelle s'écoule l'électricité).

Il a fallu de nombreuses et patientes recherches pour trouver des compteurs d'électricité qui satisfissent à la fois le vendeur et le consommateur. Il en existe aujourd'hui des modèles très variés, basés sur des principes différents, et qui remplissent à peu près les conditions du problème. A la suite du concours ouvert par la Ville de Paris en 1888, et qui fut prorogé jusqu'en août 1890, deux premiers prix furent décernés au compteur Thomson et au compteur Aron, qui ont été décrits en détail dans la *Revue Encyclopédique* (1891, nos 1 851 et 852), et sur lesquels nous ne reviendrons pas. Ce sont les deux compteurs actuellement les plus employés.

Éclairage. — En sortant du compteur, l'électricité est dirigée par des fils dans les différents locaux à éclairer, et arrive aux *appareils d'éclairage.* Ils sont de deux sortes, comme on sait : 1° les lampes à arc, qui conviennent pour l'éclairage des rues et des grands espaces, et qui, à lumière égale, coûtent beaucoup moins cher que le gaz ; 2° les lampes à incandescence, qui sont plutôt applicables dans les appartements. Leur lumière revient plus cher que le gaz, mais moins cher que celle de la lampe à huile ou de la bougie. Tout le monde connaît la *lampe à incandescence*, constituée d'une ampoule de verre, dans laquelle on a fait un vide aussi parfait que possible, et d'un filament de charbon contenu dans cette ampoule. Quand il passe dans ce filament une quantité d'électricité suffisante, il s'échauffe, rougit et devient enfin incandescent : il émet alors une vive lumière, sans brûler, puisqu'il est dans un espace ne renfermant pas d'air. La durée des lampes à incandescence est très variable ; cependant, elles peuvent éclairer, en moyenne, 800 à 1000 heures. Il y en a de toutes grandeurs et de toutes puissances, depuis une bougie jusqu'à 500 bougies ; l'enveloppe en verre est polie ou dépolie, colorée, cylindrique, ronde, ovale, etc. On les recouvre quelquefois d'enveloppes

de papier léger ou de soie, pour briser les rayons. La lampe à incandescence pouvant être posée dans n'importe quel sens, on peut donner aux appareils qui les supportent telle forme que l'on désire, ce qui permet de combiner des chandeliers, des lustres, des appliques plus ou moins artistiques, dont les Figs. 50 à 52 reproduisent plusieurs spécimens.

Comme on le voit, les appareilleurs ont considéré, dans la création de la plupart de leurs modèles de lustrerie, la

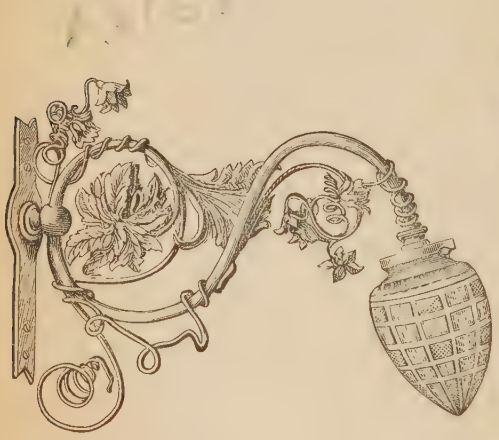


FIG. 50.

FIG. 51.

lampe à incandescence comme une fleur, les supports représentant des branches et des feuilles. On obtient des effets décoratifs assez satisfaisants en se servant de miroirs comme réflecteurs, ainsi que le montre la Fig. 53 ; ou en suspendant la lampe au plafond, dans un globe taillé à sa partie inférieure pour renvoyer la lumière en rayons scintillants, ainsi que le montre la Fig. 54. La Fig. 55 nous montre un bouquet de plafond.

On peut, d'ailleurs, varier à l'infini la décoration des lustres ou supports, et on arrive ainsi à créer des modèles

gracieux, à condition de les approprier à la lampe sans vouloir copier les anciens lustres à gaz. Il ne faut pas oublier, en effet, que l'électricité n'a pas les mêmes raisons

FIG. 52.

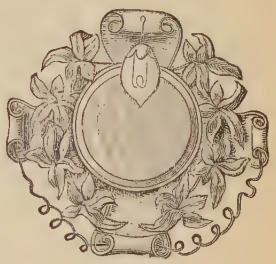


FIG. 53.

FIG. 54.

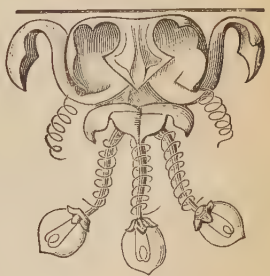


FIG. 55.

de s'éloigner des plafonds et des murs que les flammes des lampes, du gaz ou des bougies.

Ce qu'il importe de signaler aux amateurs, ce sont les effets particulièrement gracieux que l'on obtient dans les appartements ou dans les serres d'appartement,[2] en disséminant au milieu des touffes de fleurs ou de feuillage

naturel de toutes petites lampes à incandescence de 4 à 5 bougies, que l'on allume d'un seul coup de bouton-poussoir.

Une application plus pratique, et qui est spéciale à l'électricité, c'est d'illuminer un local au moment où on y entre, sans conserver la lumière qui est inutile quand ce local n'est occupé par personne. Rien n'est plus simple ; il suffit de poser près de la porte un commutateur, qui est tourné dans un sens par la porte elle-même lorsqu'on l'ouvre, et dans le sens contraire quand on la ferme.

Des boutons qu'il suffit de presser quand on désire de la lumière donnent le moyen d'obtenir l'allumage instantané de tout ou partie des lampes qui garnissent une pièce. A ces divers points de vue, la lumière électrique par les lampes à incandescence présente donc des avantages que n'avaient aucun des systèmes d'éclairage employés avant elle, et qui nécessitaient tous un allumage à l'aide d'allumettes. Mais à ces avantages de commodité viennent s'en joindre d'autres, qui sont plus appréciables : ce sont l'extrême propreté, le manque de chaleur, l'absence de fumée, la simplicité de l'entretien, et par-dessus tout, l'hygiène de l'habitation, puisqu'il n'y a pas combustion, et par suite pas d'absorption d'une partie de l'oxygène de l'air ambiant, pas de dégagement d'acide carbonique, ni d'oxyde de carbone.

Chauffage. — Le gaz sert à éclairer, il sert également à chauffer, et c'est là une de ses plus importantes applications. En est-il de même de l'électricité ? ou du moins peut-on se servir du courant électrique pour produire de la chaleur et à quel prix ?

Comme *appareils de chauffage*, l'électricité n'a pas produit encore grand'chose de sérieux, cependant, il y a là toute une série d'applications à venir dont on s'occupe, et qu'il est intéressant de signaler.

Le Chauffage des appartements. — Il est bien évident qu'il serait absurde, au point de vue économique, de vouloir

utiliser l'énergie électrique pour chauffer une habitation. En admettant même qu'on puisse obtenir cette énergie au taux le plus bas qui soit en France (0 fr. 50 le kilowatt-heure), on arriverait à des prix incomparablement plus élevés que ceux du chauffage par combustion directe avec le charbon ou le coke.

On aura une idée assez nette de cette différence de prix quand on saura que, pour produire 100 calories, il faut brûler 50 grammes de houille ou dépenser 116 watts. La houille étant comptée à 30 francs la tonne, le prix de ces 100 calories sera, dans le cas de l'emploi de la houille, de 0 f. 0015 ;[3] tandis que si on a recours à l'électricité, on devra dépenser 0 fr. 058 en ne comptant le kilowatt-heure que 0 fr. 50.

Le chauffage par l'électricité est donc, dans l'hypothèse considérée, 38 fois plus coûteux que le chauffage à la houille.

Nous nous contenterons donc de signaler, à titre de simple curiosité, le *poêle électrique* Drevs, constitué par deux cylindres en poterie concentriques,[4] dans l'espace annulaire desquels est disposée une série de pièces métalliques. Le courant se transmet, par un jaillissement d'étincelles de pointe à pointe, entre ces pièces, fixées par des rivets à des pinces à ressorts assujetties dans les rainures des cylindres. L'air extérieur pénétrant dans l'espace où se produisent les étincelles s'échauffe et entre dans la pièce. La conception est évidemment originale, mais le succès pratique peut inspirer quelques doutes à cause de l'oxydation qui se produira infailliblement aux extrémités des pointes.

Éclairage et chauffage simultané. — Si le courant électrique peut servir à produire de la chaleur, inversement on peut se proposer de convertir une partie de la chaleur dégagée par nos appareils de chauffage ordinaire pour donner naissance à un courant électrique dont on se servira pour l'éclairage. Tel est le but que s'est proposé M. le Dr Giraud en combinant le *poêle thermo-électrique* représenté, Fig. 56.

Les gaz chauds arrivent au contact d'uné série de boîtes rectangulaires en tôle de fer emboutie,[5] constituant une sorte de ruche, dans lesquelles viennent se loger les éléments thermo-électriques. Ces éléments, au nombre de 700 environ, sont disposés en couronnes horizontales. Ils sont constitués par des couples nickel ou fer-blanc et alliage à base de zinc et d'antimoine, additionné de certains métaux en petite quantité, dans le but d'augmenter la résistance mécanique des éléments et de retarder leur fusion. Les éléments, emboîtés dans les alvéoles en tôle emboutie, en sont électriquement isolés par une enveloppe en amiante. Le refroidissement est produit en partie par des ailettes, et en partie par la circulation d'air ménagée [6] entre les éléments.

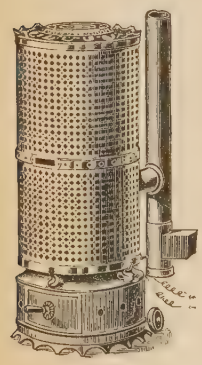


FIG. 56.

Les gaz produits par la combustion du coke s'échappent verticalement dans une enveloppe cylindrique et redescendent dans une seconde enveloppe concentrique à la première avant de se rendre à la cheminée. Cette disposition a pour but d'éviter les coups de feu et d'égaliser la température à laquelle sont portées les soudures chaudes.

Les 700 éléments sont tous montés en tension et donnent sensiblement la même puissance utile maxima [7] lorsque l'on emploie le nickel ou le fer-blanc. La force électromotrice est d'environ 40 volts à pleine marche, et l'intensité en court circuit de 4 amp. Dans les conditions de puissance utile maxima, les seules dans lesquelles on puisse se placer avec les piles thermo-électriques, puisque la consommation du combustible est indépendante de la production de la pile, le débit utile est de 40 watts, correspondant à environ 1 kilowatt-heure par jour pour la marche continue.

La consommation de combustible correspondant à cette allure est d'environ 28 kilogr. de coke par jour. Le coke pesant 37 kilogr. par hectolitre et coûtant environ 2 fr., on voit que le kilowatt-heure ainsi produit revient à 1 fr. 50, prix exactement égal à celui demandé au maximum pour les stations centrales d'électricité à Paris.

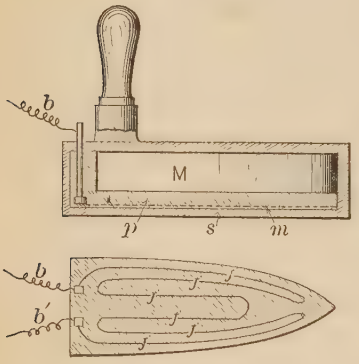
Comme le débit est trop faible pour que l'on puisse allumer directement plus d'une lampe à la fois par le poêle, on est obligé d'avoir recours à des accumulateurs, ce qui augmente les frais d'installation et réduit la quantité d'énergie électrique disponible.

Petites applications du chauffage électrique. — Mais en dehors du chauffage des appartements il est une quantité d'autres applications où la facilité que donne le courant électrique de régler la quantité et l'intensité de chaleur obtenue par la simple manœuvre[8] d'un interrupteur, sans dégagement d'odeur, de fumée, de poussière, de vapeur, etc., peut l'emporter sur l'inconvénient du prix de revient élevé de ce mode de production du calorique. Par exemple, en Amérique, on a chauffé l'hiver dernier un certain nombre de tramways par un courant électrique emprunté à la canalisation générale actionnant le tramway lui-même.

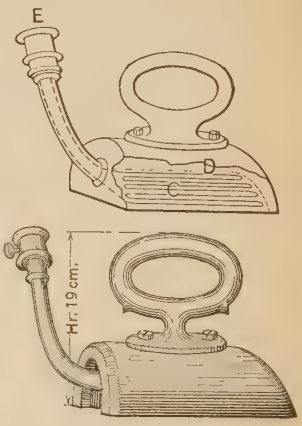
On fait des fers à repasser électriques. Ces fers contiennent des fils qui rougissent et élèvent, par contact, leur température au degré voulu. On les emploie à l'Opéra pour repasser les jupes des danseuses, parce que ce moyen ne présente pas de dangers d'incendie : un autre avantage qui n'est pas à dédaigner dans cette application spéciale de l'électricité, c'est que le fer ainsi chauffé conserve pendant le travail toujours la même température, ce qui assure un travail plus continu.

Les Figs. 57 et 58 donnent la vue en plan et en coupe[9] d'un *fer à repasser* électrique, composé d'une boîte creuse en cuivre ayant la forme habituelle du fer à repasser. Au fond

de la boîte est une plaque en terre réfractaire *p*, séparée de la tôle par une semelle de mica *m*, chargée d'une masse métallique *M*. Dans la plaque de terre réfractaire est noyé



FIGS. 57 et 58.



FIGS. 59 et 60.

un fil de platine, recourbé comme le montre le plan et dont les extrémités aboutissent aux bornes *b* et *b'*, où l'on attache les conducteurs amenant le courant. Ce dernier en traversant le fil de platine l'échauffe et la chaleur se répand dans la terre réfractaire.

Les Figs. 59 et 60 donne la vue extérieure et la vue intérieure d'une autre forme de fer à repasser électrique. Comme dans le cas précédent, l'appareil contient un fil (*CD*) plusieurs fois recourbé et porté à une haute température par le passage du courant amené en *E*.

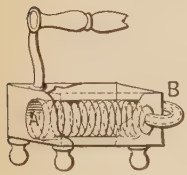


FIG. 61.

Les *fers à friser* chauffés électriquement (Fig. 61) sont maintenant d'un usage courant, parce que la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer cet appareil n'est pas grande et que la dépense est modérée. Les

réchauds, les *bouilloires* (Figs. 62 et 63) pour chauffer l'eau commencent aussi à être fort employés.

La construction de ces appareils repose toujours sur le même principe : l'échauffement d'un fil fin *F* (Fig. 63), et

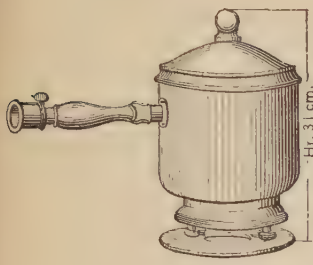


FIG. 62.

FIG. 63.

par suite, résistant intercalé dans un circuit électrique, lequel fil étant noyé dans une substance réfractaire lui communique sa chaleur.

Il était intéressant de se rendre compte de la différence de prix qui résulterait de l'emploi du gaz, du pétrole et de l'électricité pour le chauffage de l'eau, dans un cabinet de toilette par exemple.

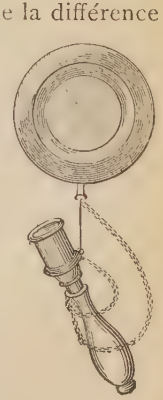


FIG. 64.

En supposant que l'on utilise complètement la chaleur produite par l'électricité, il faut dépenser 116 watts pour élever 1 litre d'eau de 0° à 100° centigrades ; il faut, pour produire le même résultat, dépenser 60 litres de gaz de houille ou brûler 16 grammes de pétrole. Or :

116 watts à 0 fr. 20 le kilowatt (prix très réduit qui s'applique à la vente de l'électricité pour force motrice, dans certaines petites villes) donnent une dépense de 0 fr. 0232;

60 litres de gaz de houille à 0 fr. 30 (tarif courant) coûtent 0 fr. 018 ;

Enfin 16 grammes de pétrole à 0 fr. 70 le litre (prix du pétrole à Paris) donnent une dépense de $\frac{0 \text{ fr. } 70 \times 16}{800}^{10} =$ 0 fr. 014 (la densité du pétrole étant de 800).

On voit que, même au tarif de 0 fr. 20 le kilowatt, le prix du chauffage par l'électricité surpasse d'environ $\frac{1}{3}$ le prix du chauffage au gaz et atteint presque le double du chauffage au pétrole. Mais, comme il s'agit d'un chauffage de peu de durée (6 à 10 minutes), ces différences de prix n'ont pas une grande importance.

Nous citerons encore un petit appareil d'un usage courant : l'*allume-cigare* électrique (Fig. 64), composé d'une double spirale de fil de platine, sur de l'amiante ; quand on décroche l'appareil, le courant passant dans le fil le rend incandescent. Le courant est rompu quand on raccroche le manche à son commutateur.

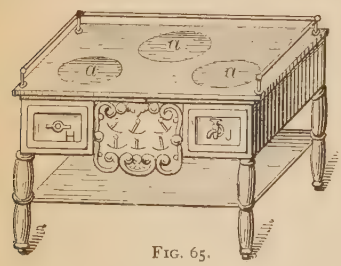


FIG. 65.
Vue du Fourneau électrique.

Une autre application du chauffage électrique non moins intéressante est celle que propose M. Schindler Jenny à un *fourneau de cuisine.*

Chauffage électrique à la cuisine. — La Fig. 65 donne la vue d'un de ces fourneaux comprenant trois plaques *a a a*, une rôtissoire *H* et une bouillotte *J*. La Fig. 67 représente en plan et en coupe l'une des plaques constituée par des *résistances*[11] en platine *c c*, imbriquées dans une terre réfractaire *b* sous une mince feuille de tôle *d*. La rôtissoire *H*, également en terre réfractaire, est enveloppée des fils calorifiques *c c c*, de manière à répartir uniformément la chaleur (Fig. 66). Le principe

est toujours le même. Les fils d'amenée[12] du courant aboutissent aux bornes *b b'*.

En Angleterre, à l'exposition du Crystal Palace,[13] M. Crompton exposait tout dernièrement des *poêles à frire* dont la disposition était originale. Le courant qui porte le fond de la poêle à la température exigée pour l'opération culinaire traverse un fil de cuivre en zigzag noyé dans l'émail formant le fond de la poêle. A l'aide d'un rhéostat on règle l'intensité du courant de façon à obtenir le degré de chaleur nécessaire pour la cuisson.

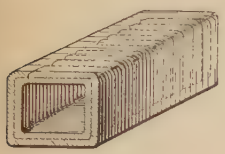


Fig. 66. — Rôtissoire automatique.

Le professeur Aryton a fait à l'Institution Royale de Londres une conférence[14] sur les applications de l'électricité au chauffage et plus particulièrement à la cuisine ; nous y trouvons les renseignements suivants : Il suffit de moins de 7 watts-heure pour porter une poêle électrique à la température à laquelle le beurre frit, et la même quantité d'énergie électrique suffit à la cuisson parfaite d'une omelette en quatre-vingt-dix secondes, et moyennant une dépense de moins de 2 centimes, même en payant l'électricité au tarif de vente[15] de Paris, qui est fort élevé (1 fr. 50 les cent watts). Ceci s'explique parce que dans chacune des opérations considerées on n'a besoin que d'une petite quantité de chaleur et qu'on l'utilise mieux qu'on ne peut le faire avec la chaleur produite par la combustion directe d'un combustible.

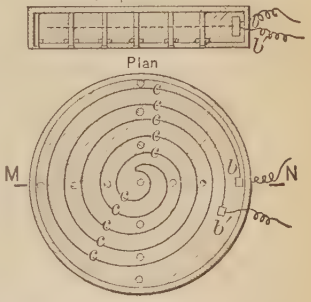


Fig. 67. — Plaque de fourneau. Vue en plan et en coupe transversale suivant la ligne M N.

Il faut donc s'attendre à ce que, lorsque l'électricité aura pénétré dans toutes les habitations pour l'éclairage, lorsqu'il y aura des prises de courant [16] installées dans toutes les pièces d'un appartement confortable, on y trouvera tous les ustensiles dont nous venons de signaler l'emploi.

Force motrice. — L'électricité peut enfin servir de *force motrice.* La machine dynamo-électrique possède, comme on sait, la propriété remarquable d'être *réversible.* Si au lieu d'attacher aux bornes d'une machine dynamo en mouvement des conducteurs qui transportent au point d'utilisation l'électricité qu'elle produit, on attache aux bornes d'une dynamo *en repos* des conducteurs amenant le courant produit par une autre machine en mouvement, on constate que celle-ci se met à tourner. La dynamo est donc un véritable *moteur* quand on lui fournit du courant, et c'est cette réversibilité qui est mise à profit dans toutes les applications mécaniques de l'électricité : transmission et transport de force, treuils électriques, grues électriques, etc.

Les applications des moteurs électriques dans la maison sont maintenant fort répandues.

Dans les grandes villes, où chaque immeuble a un grand nombre d'étages, on est dans l'obligation d'installer des *ascenseurs.* Ces engins sont généralement mûs par l'eau sous pression, ce qui oblige, pour les installer, de creuser des puits profonds. On évite cet inconvénient en même temps qu'on réalise une importante économie sur les frais de premier établissement en recourant à l'emploi des moteurs électriques.

La Fig. 68 donne la vue d'un ascenseur électrique système Otis, très répandu en Amérique. La cage de l'ascenseur est suspendue à un câble qui, après avoir passé sur une poulie placée au sommet de la cage de l'escalier, vient s'enrouler sur un treuil mû par un moteur électrique, par l'entremise d'une vis sans fin en acier sur roue en bronze tournant

dans un bain d'huile. L'appareil, peu volumineux, se place soit à côté de la cage de l'ascenseur, comme le représente notre gravure, soit au-dessus, soit au-dessous, dans une cave par exemple. Un système de distribution du courant électrique installé entre le moteur et la cage permet à la personne qui se trouve dans celle-ci de régler à sa volonté la

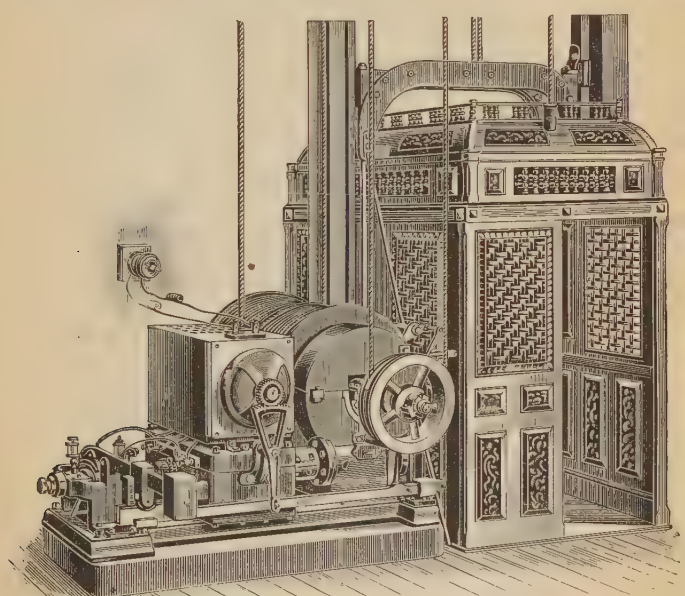


FIG. 68.

vitesse de rotation du treuil et de l'arrêter. Le fonctionnement, très simple, très régulier et très facile, se fait sans bruit ni secousses, et l'appareil est construit de telle sorte que toutes les variations d'intensité pouvant s'y produire sont automatiquement régularisées.

Mais il n'est pas toujours possible d'installer dans une cage d'escalier un véritable ascenseur, et dans ce cas on

peut néanmoins résoudre le problème en employant le *monte-escalier électrique* dont la Fig. 69 donne une vue perspective. L'appareil se compose d'un chariot roulant sur deux rails superposés et portant un siège, puis d'un treuil

FIG. 69. — Monte-escalier électrique.

électrique qui actionne le chariot au moyen d'un câble en acier guidé par des galets. Un frein à excentrique arrête l'appareil sur la hauteur d'une marche, c'est-a-dire, de $0^m,25$, dans le cas improbable où le câble métallique viendrait à se rompre.

Le monte-escalier a l'avantage de ne prendre en largeur que $0^{m},30$ environ de la marche de l'escalier, un peu moins que n'en prend une personne en montant ou en descendant, et encore dans la partie inutilisée pour la circulation ; ce n'est donc pas un embarras. Enfin l'appareil s'adapte à tous les escaliers existants, sans exiger de modifications essentielles : il suffit de fixer à la rampe, au moyen de boulons, les deux rails servant au passage du chariot.

Le courant électrique, qui est faible, est pris à la distribution urbaine.[17] Quant à la manœuvre elle est d'une grande simplicité. La personne qui se sert de l'appareil n'a qu'à déplacer un levier à portée de sa main pour monter, s'arrêter ou descendre. Voilà une invention qui nous paraît appelée à certain succès dans les maisons des grandes villes non pourvues encore d'ascenseurs et où la place manque pour en installer. Le monte-escalier est sans contredit parmi les applications actuelles de l'électricité dans la maison une des plus curieuses et peut-être les plus pratiques.

Voilà toute une série d'applications des plus intéressantes pour les moteurs électriques ; ce ne sont pas les seules. Pour une quantité d'autres travaux exigeant peu de force ces précieux appareils rendent d'importants services.

On peut d'abord les employer dans de petits ateliers en remplacement des moteurs à gaz ; ils sont moins encombrants que ces derniers, fonctionnent sans bruit, et toute l'installation se borne à les relier aux fils, conducteurs d'amenée du courant.[18] Enfin, ils peuvent être conduits facilement et sans danger même par des personnes inexpérimentées, à condition d'être construits avec soin. La Fig. 70 donne la vue d'un *moteur* satisfaisant à ces conditions. L'arbre tournant dans des paliers à cylindres faisant fonction de billes,[19] un oubli de graissage est sans conséquence. L'armature étant entièrement recouverte, les connexions de l'armature et du commutateur sont cachées et à l'abri de

tout accident. Les porte-balais sont disposés de façon à avancer automatiquement les balais au fur et à mesure de leur usure et à assurer une pression uniforme et constante. Les seules parties mobiles susceptibles d'être touchées sont la poulie et le commutateur, et comme elles sont polies, elles n'offrent aucun danger pour l'opérateur.

Les petits moteurs électriques sont maintenant employés pour faire marcher les machines à coudre, ce qui supprime

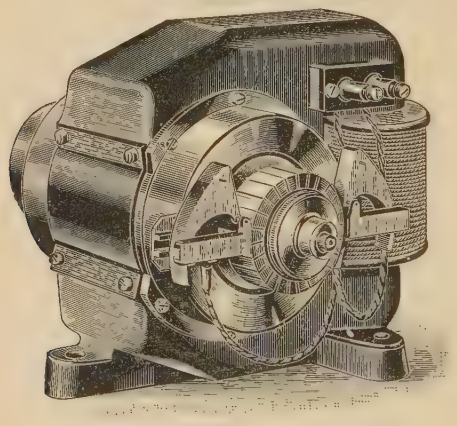


FIG. 70. — Petit moteur électrique domestique.

les mouvements si pénibles des jambes sur les pédales ; pour actionner les tours à bois et les machines à découper dont se servent quantité d'amateurs du travail manuel ; pour mettre en mouvement les pianos mécaniques.

En Amérique on trouve dans tous les grands hôtels des moteurs électriques actionnant dans l'office des machines à nettoyer les couteaux, et dans les communs des machines à cirer les chaussures.

Enfin, l'électricité permet en été d'entretenir de la fraîcheur dans les salles en les ventilant. C'est là une application très fréquente. Un ventilateur attelé directement à

un moteur électrique constitue ce que l'on appelle un *ventilateur électrique.* La Fig. 71 donne la vue d'un de ces appareils, dont le fonctionnement n'offre aucun danger et qui occupe une place très restreinte.

La puissance nécessaire pour le fonctionnement de ces appareils est à peu près égale à celle qu'exige une lampe à incandescence et la dépense de courant sensiblement la

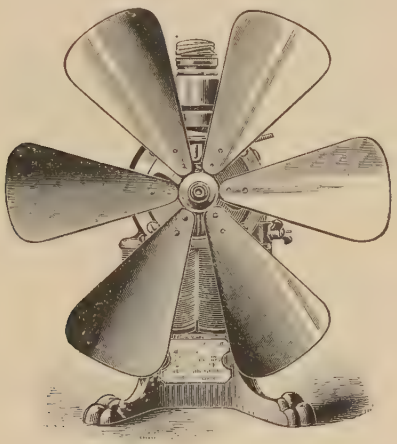


FIG. 71. — Ventilateur électrique.

même ; de sorte qu'il suffit de substituer à une lampe un bouchon de prise de courant[20] auquel on relie les conducteurs du moteur-ventilateur. Dans les grandes salles, deux ou plusieurs ventilateurs peuvent être employés simultanément.

La Fig. 71 représente la vue d'un ventilateur prêt à être relié à un circuit de lumière électrique. Ce ventilateur est composé de six ailettes de 31 centimètres de diamètre et tourne à la vitesse désirée. Cet appareil est principalement destiné à ventiler les cafés-restaurants, bureaux et

appartements, et produit un courant d'air froid qui peut être senti fortement à plus de 10 mètres.

La Fig. 72 représente un autre modèle de moteur électrique et ventilateur-souffleur combinés, fixé au plafond d'une pièce.

En terminant nous signalerons aux personnes qui ont un laboratoire et qui veulent se livrer à des recherches ou expériences exigeant l'emploi de l'électricité un moyen de se

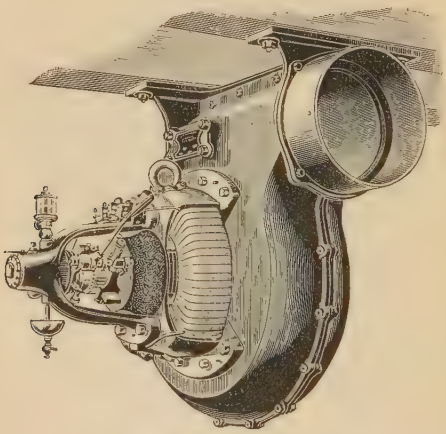


FIG. 72. — Ventilateur électrique fixé au plafond d'une salle.

passer, pour la produire, des piles si encombrantes et d'un entretien souvent difficile. La petite dynamo-électrique à main[21] représentée vue arrière Fig. 73 et qui peut également fonctionner comme moteur, remplace facilement dix à douze grandes piles Bunsen et permet par conséquent d'alimenter de grandes et de petites bobines d'induction, de petites lampes à incandescence, des bains galvanoplastiques, de charger des accumulateurs, etc. Elle pèse seulement 9 kilogrammes ; sa plus grande hauteur est de $0^{m},15$ et il est facile de se rendre compte de sa grosseur

en considérant la figure qui représente la main tournant la manivelle. Elle peut être fixée provisoirement ou à demeure sur une table ou sur un banc. L'intensité du courant peut atteindre 10 ampères dans des expériences de courte durée et dans le cas où le courant est intermittent, comme dans le fonctionnement des bobines d'induction, il peut dépasser 10 ampères pendant un temps assez long, sans crainte d'échauffer dangereusement l'armature. L'enroulement est de 10 volts, 5 ampères compound. On peut augmenter le voltage en tournant la manivelle un peu plus vite. Celle-ci est montée de façon à pouvoir être déplacée instantanément en retirant une cheville, et on peut obtenir trois longueurs différentes de levier, ce qui permet d'augmenter la puissance utile de la dynamo.

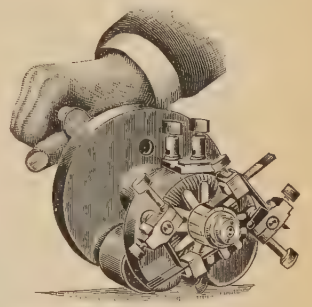


FIG. 73. — Petite dynamo à main pour laboratoire.

XLV. LE PONT WASHINGTON A NEW-YORK.

LES Américains viennent d'achever un grand pont en acier à deux arches, de 155 mètres de portée chacune, avec culées en maçonnerie, pour relier deux avenues de New-York situées sur les deux rives du fleuve Harlem. Cet ouvrage remarquable supporte une voie carrossable de 15 mètres de largeur bordée de trottoirs de $4^{m},50$, ce qui donne une largeur totale de 24 mètres pour le tablier. La hauteur du tablier de l'arche fluviale au-dessus du niveau de l'eau est de 40 mètres.

Chaque travée métallique est constituée par six arcs dont les extrémités reposent librement sur des articulations ; ces arcs ont une hauteur uniforme de $3^{m},90$ et sont formés d'une âme pleine en acier doux et de deux semelles. Des pièces de contreventement, également en acier, assurent la solidarité des arcs ; enfin, des montants verticaux en métal, constitués par des poutres cloisonnées, s'élèvent au-dessus de ces arcs et soutiennent le tablier.

La construction des parties en maçonnerie de cet ouvrage d'art n'a pas donné lieu à des travaux spéciaux. Seule la pile du milieu a été fondée dans le lit de la rivière au moyen d'un caisson à air comprimé. On sait en quoi consiste cette méthode, inaugurée en 1859 par des entrepreneurs français et qui, successivement perfectionnée, est aujourd'hui d'un usage général dans tous les pays. On construit un caisson en tôle (ou en bois, comme on le préfère en Amérique) ayant en longueur, largeur et hauteur les dimensions du massif de fondation qu'il s'agit de construire dans le sol, à une certaine profondeur. Ce caisson est fermé sur ses côtés et sur sa partie supérieure, mais il n'a pas de fond et ses parois latérales sont construites en forme de coins de manière à pouvoir s'enfoncer dans le sol lorsqu'on charge le caisson d'un certain poids. Au-dessus du plafond, les parois latérales en se prolongeant constituent une grande chambre que l'on remplit au fur et à mesure de maçonnerie ou de béton.

La Fig. 74 permet de se rendre compte de la méthode de travail et du fonctionnement de l'appareil. En bas, dans la chambre inférieure du caisson on voit les ouvriers qui enlèvent la terre et la chargent dans des seaux, que l'on remonte quand ils sont pleins, à l'aide de cordes, dans la cheminée en tôle qui aboutit dans un appareil appelé la "chambre à air." En effet, on a soin de maintenir dans la chambre de travail une pression supérieure de quelques atmosphères à la pression de l'air extérieur, pour empêcher

l'eau, qui imbibe le terrain dans lequel on s'enfonce, de faire irruption en passant au-dessous des coins et de submerger

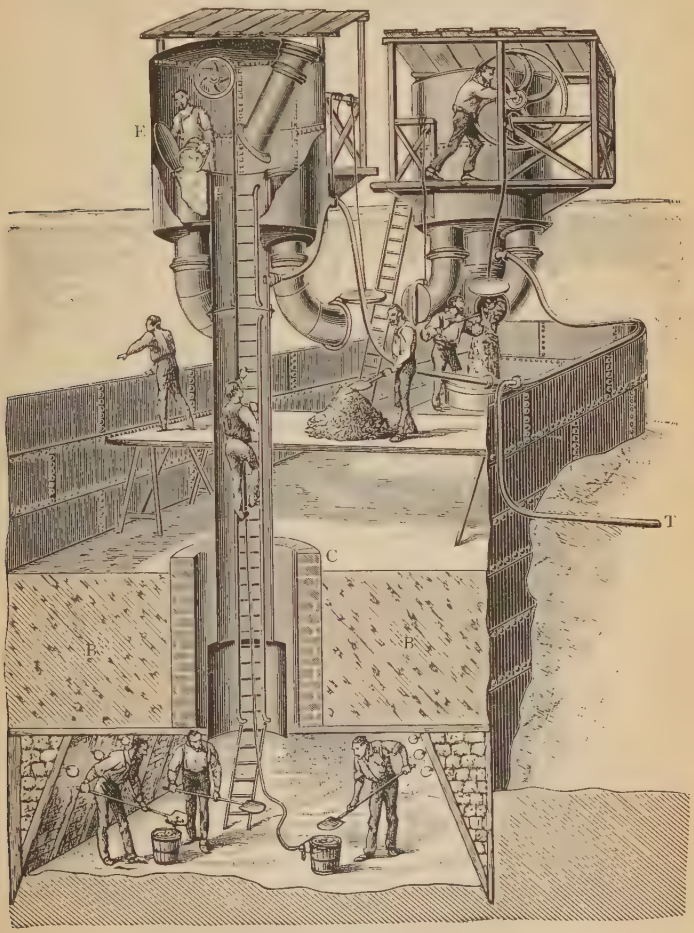


FIG. 74. — Caisson à air comprimé.

BB, Béton. — C, Puits maçonné. — E, Chambre à air. — P, Cheminée en tôle. T, Tuyau conduisant l'air comprimé dans la chambre de travail.

les ouvriers. Il faut donc amener constamment dans cette chambre, par un tuyau *T*, de l'air comprimé avec une pompe (que l'on n'a pas figurée sur le dessin). Mais, puisque l'air dans la chambre de travail est à une pression supérieure à la pression ambiante, on ne peut la mettre en communication directe avec l'extérieur ; il faut, pour sortir du puits, ou pour y entrer, pénétrer d'abord dans l'écluse *E* après avoir fermé l'orifice du puits *P*, fermer la porte de l'écluse *E*, et ouvrir seulement après la porte qui bouchait ce puits. L'équilibre de pression s'établit alors entre la chambre inférieure de travail et l'écluse à air. C'est une manœuvre analogue, comme on voit, à celle des écluses qui servent dans les canaux pour faire passer un bateau d'un bief supérieur dans un bief inférieur et *vice versa*, d'où le nom d'*écluse à air* donné à l'appareil. L'entrée et la sortie des ouvriers, ainsi que l'évacuation des déblais et l'introduction des matériaux et des outils, s'effectuent comme on le voit avec la plus grande facilité. Au fur et à mesure que le caisson s'enfonce, on remplit le compartiment supérieur de béton *BB*, on maçonne le puits *C* qui enveloppe la cheminée en tôle *P*, et enfin on ajoute des tôles aux parois du caisson. Le poids de ce béton et de la maçonnerie exerçant une pression de plus en plus grande sur les extrémités inférieures des parois taillées en coins de la chambre de travail, déterminent la descente progressive de tout l'appareil. Quand on est arrivé à la profondeur voulue, les ouvriers remontent, et on coule du béton par le puits *P* de façon à combler la chambre de travail.

Le caisson employé à la construction de la pile fluviale du pont Washington mesurait $31^{m},25$ de longueur, $16^{m},30$ de largeur. Il était construit en bois. Deux écluses à air servaient à l'entrée et à la sortie des ouvriers et à l'extraction des déblais. La chambre de travail était éclairée par des lampes électriques à incandescence de 16 bougies.

La construction du pont Washington nous offre un nouvel exemple de l'utilisation de l'acier à la construction des grands ouvrages d'art. C'est grâce à l'emploi de ce métal que l'on a pu augmenter dans une grande proportion la portée des viaducs ; il a, en effet, une résistance supérieure à celle du fer à poids égal.

Les Américains ont construit avec ce métal des ouvrages fort remarquables, parmi lesquels il convient de citer le pont suspendu de l'East River, qui a coûté 27 millions de francs et dont la longueur totale est de 770 mètres, non compris les rampes d'accès. Il comprend une travée fluviale de 486

FIG. 75. — Pont de 860 mètres de portée projeté à New-York.

mètres de longueur, et le tablier se trouve à 26 mètres au-dessus des basses eaux.

On projette un ouvrage qui dépassera tout ce qui à été fait jusqu'ici, même le pont du Forth[1] inaugurée en 1890 et dont les travées mesurent 500 mètres ; nous voulons parler d'un autre pont suspendu sur le fleuve Hudson, à New-York.

La Fig. 75 en donne une vue perspective : il aurait une travée centrale de 860 mètres de longueur. Le tablier, qui supporterait six voies ferrées, serait suspendu à quatre cables d'acier de $1^{m},20$ de diamètre ; il serait à 45 mètres au-dessus du niveau du fleuve, et les tours-supports des câbles atteindraient une hauteur de 150 mètres. La longueur totale de ce pont colossal serait de 1950 mètres et la dépense est évaluée à 80 millions de francs. Si l'on se reporte à cinquante ans en arrière, époque à laquelle fut construit le

pont Britannia,[2] le plus grand ouvrage de ce genre, en fer forgé, on ne peut se défendre d'une certaine admiration pour les progrès si rapides accomplis dans l'art de la construction. En effet, le pont Britannia, souvent cité comme un exemple de hardiesse, n'était pas aussi remarquable relativement aux ouvrages antérieurs de même nature que le seront maintenant sur les ponts existants ceux du Forth et surtout le pont projeté sur le North River.

XLVI. NOUVELLE VOITURE MUE PAR UN MOTEUR A PÉTROLE.

La vapeur, l'électricité, le gaz, le pétrole, peuvent servir à actionner de petits moteurs légers, fournissant sous un faible volume une puissance relativement grande, tout en restant économiques et se prêtant par conséquent aux installations mobiles, par exemple à la locomotion sur routes, à la propulsion des bateaux, etc. On décrivait dans la *Revue Encyclopédique* (année 1891, n° 820) une voiture électrique et une voiture à vapeur utilisant le générateur Serpollet ; nous complétons cette série en parlant de la nouvelle *voiture à moteur à pétrole* du système Daimler.

Ce moteur fonctionne au gaz de houille ou avec des vapeurs hydrocarburées. Dans ce dernier cas l'air entrant dans l'appareil sous l'effet de l'aspiration des pistons, traverse une couche de gazoline qui est vaporisée. Ce mélange d'air et de vapeurs de pétrole, venant au contact d'un tube maintenu incandescent par un brûleur, est porté à une certaine température, et le mélange explosif pénétrant dans le cylindre du moteur s'y comporte comme du gaz de houille. Nous pensons qu'il est inutile d'entrer dans une explication détaillée du mécanisme du moteur à gaz tonnant,

dont le principe est suffisamment connu. Il nous suffira de dire que le moteur comporte[1] un, deux ou quatre cylindres, suivant sa puissance, laquelle peut varier de un demi à dix chevaux. Ce moteur, à un ou deux cylindres, fonctionne à des vitesses de quatre cents à sept cents tours par minute ;

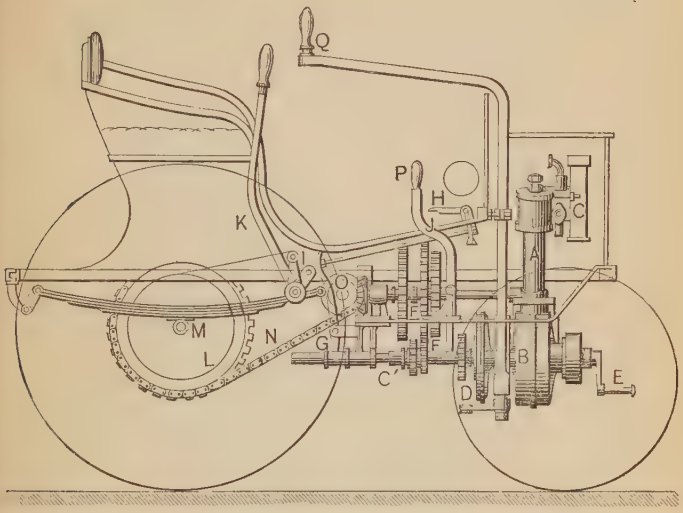


FIG. 76. — Voiture mue par un moteur à pétrole Daimler : Vue du mécanisme.

il occupe un espace très restreint, ce qui a permis son application à la locomotion sur routes.

On aura une idée suffisamment nette du mécanisme d'une voiture actionnée par l'un de ces moteurs en se reportant à la Fig. 76, dans laquelle la machine à deux cylindres est figurée en *A*, avec son carburateur *C*. A la gauche du bâti *B* on aperçoit un accouplement à friction *D* pour la commande[2] d'un arbre de couche *C'*. Cet arbre porte trois pignons inégaux engrenant respectivement avec les roues d'un arbre intermédiaire actionnant, à son tour, au moyen

d'une paire de pignons coniques, une chaîne de galle *N* à maillons en acier de la roue *L* calée[3] sur l'essieu moteur *M* de la voiture.

Ces engrenages ont pour but de permettre de modifier la vitesse suivant les circonstances ; vitesse qui est minimum lors du démarrage ou dans les rampes, maximum en palier et quand la route est bonne, moyenne dans tous les autres cas. On peut ainsi marcher à 5, 10 ou 16 kilomètres à l'heure, ce qui est évidemment une allure très rapide pour un véhicule routier et qui ne saurait être dépassée sans danger.

C'est le conducteur qui, à l'aide du levier *P*, placé à sa portée, modifie la vitesse en le mettant à l'un de ses trois crans d'arrêt. Un double frein permet de modifier la vitesse suivant les circonstances : le premier, pour la marche courante, agit par une pédale sur l'arbre du pignon de la chaîne de galle, le deuxième qui sert pour les descentes très rapides et, quand on veut produire un arrêt brusque, agit sur l'essieu de la voiture par les leviers *K*, *I*, *J*. — Enfin une autre pédale *H*, actionne au moyen d'une tringle le balancier *G*, et permet de débrayer le plateau *D* de l'accouplement à friction. On voit ainsi que le conducteur a à sa disposition tous les moyens d'assurer la sécurité des voyageurs.

Quant au changement de direction il s'obtient au moyen du levier *Q*, que le conducteur tient dans sa main gauche sur la Fig. 77. En agissant sur ce levier on fait dévier dans un sens ou dans l'autre l'avant-train sur lequel sont montées les roues d'avant, à l'aide d'axes indépendants.

Enfin, pour mettre la voiture en marche, on tourne à la main la manivelle *E* placée à l'avant de l'arbre de couche ; dès que la première explosion s'est produite on abandonne le moteur à lui-même.

Nous aurons complété cette description en faisant remarquer que toutes les pièces du mécanisme sont bien protégées

par une enveloppe en tôle, que dans la caisse du moteur se trouve de l'eau pour le refroidissement des culasses des cylindres, eau dont la circulation est assurée par une petite pompe centrifuge actionnée par la machine et que l'on n'a besoin de renouveler que de temps à autre pour parer aux pertes dues à l'évaporation.

La gazoline, qui sert de combustible, est contenue dans

FIG. 77. — Voiture mue par un moteur à pétrole : Vue perspective.

un réservoir d'une capacité de 6 litres placé derrière la caisse du moteur ; avec une petite pompe en caoutchouc on puise la gazoline dans ledit réservoir pour en remplir le carburateur. Cette opération ne se renouvelle que toutes les heures et demie environ.

Voyons maintenant le prix de traction qui résulte de l'emploi de cette voiture à pétrole.

On consomme en moyenne 1 litre de gazoline d'une densité de 0,68 par heure de marche à une vitesse moyenne de 13 kilomètres par heure. Cette quantité de gazoline coûtant 0 fr. 50, on dépense par kilomètre de parcours

$$\frac{0 \text{ fr. } 50}{13} = 0 \text{ fr. } 038,$$

soit en nombre rond 4 centimes et 6 centimes $\frac{1}{2}$ en y comprenant les frais de graissage.

XLVII. LE VIADUC DE LA CERVEYRETTE.

M. le Commandant Baldy, chef du génie de la place de Briançon (Hautes-Alpes),[1] a fait jeter un pont métallique en arc sur le torrent de la Cerveyrette pour mettre en communication directe le fort des Têtes et le fort Bayard, placés en face l'un de l'autre sur deux sommets séparés par une gorge de 85 mètres de profondeur. Ce travail hardi mérite une description.

La largeur à franchir était de 75 mètres : on a adopté un système de pont à arcs métalliques en forme de parabole, soutenant un tablier de 4 mètres de largeur dont $2^{m},50$ de voie charretière. La forme même de la gorge à l'endroit indiqué pour la franchir permettait de réduire l'ouverture de l'arc à $51^{m},45$, de façon à faire reposer le tablier de 75 mètres de longueur sur les deux culées extrêmes, sur le sommet des arcs paraboliques et enfin sur des montants verticaux s'appuyant les uns sur les reins des arcs, les autres sur le rocher, ainsi que le montre notre dessin. Les deux arcs paraboliques, à treillis, ont une hauteur de $0^{m},75$ à la clef, de 2 mètres aux appuis, ils sont écartés de $3^{m},60$ au sommet, de 6 mètres à leur base et ont une flèche de $11^{m},50$. Un système de contreventement au moyen de croisillons assure la rigidité et la solidité de cet ensemble

métallique, dont le poids, y compris celui de la chaussée empierrée qu'il supporte, atteint 3500 kilos par mètre courant. Le poids du métal employé est de 120 tonnes, dans lequel les deux arcs entrent pour 40 tonnes.

Il était assez difficile de procéder à la mise en place[2] de

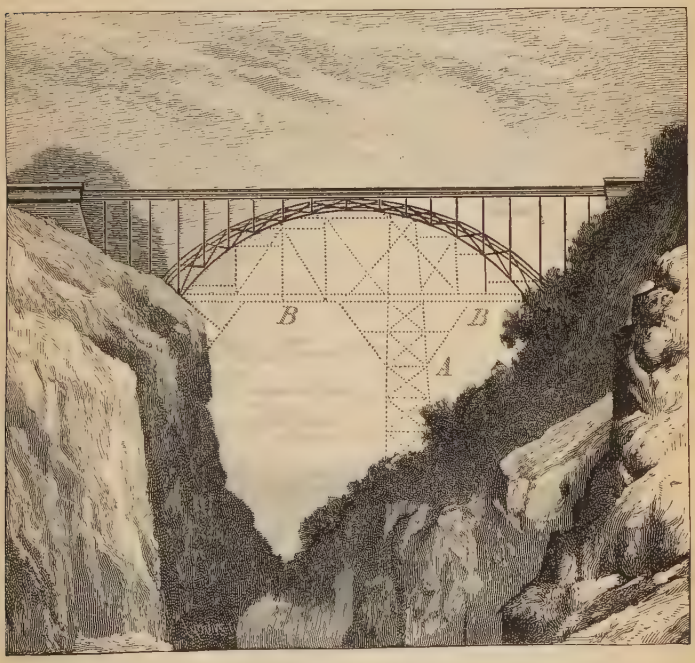


Fig. 78.

cet ouvrage, à cause même de l'énorme profondeur de la gorge. On y est arrivé cependant, sans éprouver d'accident, en établissant un échafaudage que nous avons fait figurer en traits ponctués sur le dessin. Profitant de la forme dissymétrique de la gorge, on a taillé dans le rocher une plate-forme de 8 mètres sur 6 mètres et on y a élevé un pylône *A*

de 37 mètres de hauteur, soutenant à 25 mètres une passerelle *BB* de 8 mètres de largeur, ainsi qu'une série de chevalets destinés à supporter l'arc pendant l'assemblage de ses parties. Ce pylône était amarré de chaque côté par deux câbles s'attachant au rocher et qui empêchaient le renversement de l'échafaudage par l'action du vent.

XLVIII. LE BOIS FONDU.

Une révolution considérable est à la veille de s'opérer dans la typographie: il ne s'agit de rien moins que de fabriquer en bois fondu les caractères d'imprimerie. Après de longues et patientes recherches, un ingénieur électricien de grand mérite, M. E. Bizouard, et un imprimeur bien connu, M. L. Lenoir, ont, en effet, trouvé un procédé mécanique pour fondre le bois comme on fond le plomb, l'étain, l'antimoine et tous les métaux susceptibles d'entrer en fusion sous l'action d'une chaleur donnée.

Jusqu'ici on avait considéré le bois comme un corps éminemment inflammable, et, comme tel, inapte à toute autre application que celles qui lui ont été réservées jusqu'à ce jour. C'était là une grave erreur, car il est désormais acquis que le bois fond à une température relativement basse, mais dans des conditions très précises: il suffit pour cela de le soustraire à l'action de l'oxygène, de quelque côté qu'il vienne, de façon à empêcher la combustion.

Au fait, pourquoi le bois ne fondrait-il pas? Chimiquement rien ne s'y oppose, puisque ce végétal, débarrassé dans l'alcool de ses éléments immédiatement solubles, donne encore à l'analyse, après combustion, des acides organiques, de l'eau, des essences huileuses, des silicates, des sulfates, des phosphates, des chlorures et des hydrocarbonates de

potasse, de chaux, de soude, de magnésie, de l'acide carbonique, de l'hydrogène carboné, etc., c'est-à-dire des gaz et des sels susceptibles d'évaporation ou de dissolution, après avoir coopéré par affinités chimiques à la constitution d'un corps déterminé.

Ce qu'il y a de certain, c'est qu'il existe, depuis près d'un an, un échantillon de bois fondu, qui, bien qu'ayant été obtenu sans outillage, c'est-à-dire dans des conditions entièrement désavantageuses, n'en présente pas moins les particularités les plus remarquables. C'est ainsi que sa dureté relative est sensiblement supérieure à celle de la matière dont sont composés les caractères typographiques, lesquels doivent à leur ductilité proportionnelle de fréquentes et précoces déformations. De plus, si on en juge par le spécimen obtenu, le nouveau produit ne se laisse influencer ni par la chaleur, ni par le froid, ni par l'humidité, et il offre aux atteintes du feu une résistance au moins égale à celle de la matière dont on se sert actuellement. Sans doute, l'échantillon n'est pas parfait ; ainsi que l'a expliqué l'inventeur, la chaleur a manqué, ce qui fait que l'on remarque sur certains points une espèce de stratification dans laquelle on croit reconnaître les fibres du bois ; mais toutes les parties du bloc — fondu sans préparation dans un récipient rectangulaire — ne sont pas semblables. Il en est de parfaitement lisses, à l'intérieur comme à l'extérieur, dont les arêtes vives, compactes, résistantes, et sans aucune solution de continuité, indiquent nettement le parti que l'on en pourra tirer. En outre, cette matière prend l'encre avec une extrême facilité et supporte sans inconvénient le lavage à la potasse, au carbonate ou à l'essence de térébenthine.

L'importance de cette découverte est manifeste ; elle est de nature à révolutionner l'industrie de l'imprimerie, surtout si l'on considère que son application peut avoir des conséquences multiples. Rien ne s'oppose, en effet, à ce que

l'on puisse fabriquer dès maintenant en bois fondu une grande partie du matériel d'imprimerie : les casses, les rayons, les rangs, les galées, les réglettes, en un mot une foule de choses qui appartiennent au domaine de la menuiserie et qui sont susceptibles de s'en détacher avant peu.

Certes, la fabrication des lettres de petits corps en bois fondu ne marchera pas toute seule, et il reste à trouver le moyen de projeter le liquide et de le solidifier instantanément.

NOTES.

I. Aviation.

1. **Helmholtz, Hermann Julius Ferdinand:** a famous physicist, born the 31st of August, 1821, at Potsdam, near Berlin. He died Sept. 8, 1894.

2. Collected treatises.

3. **et il . . . mètres:** and floated down a gradient of 250 metres in length.

II. Choc brusque suivant la verticale.

1. **par l'intermédiaire de:** by the intervention (means) of.

VIII. Toupie.

1. **tangentiellement à sa surface:** in a line tangent to its surface.

IX. Toupie gyroscopique.

1. **sur elle-même:** on its own axis.

2. **prenant le dessus:** and gravity becoming dominant.

X. Vélocipède.

1. **la chaînette s'enroule . . . du frein:** the chain shortens and presses a portion more or less long of the brake on the wheel R′.

2. **on enfourche l'instrument:** one sits astride of the machine.

XVI. Cylindre remontant un plan incliné.

1. **posées de champ:** put on the edge.

2. **Magasin pittoresque:** a French review.

XX. Lampe de Davy.

1. **Sir Humphry Davy,** the eminent natural philosopher, was born December 17, 1778, at Penzance, in Cornwall (England).

XXI. Cloches d'église en acier fondu.

1. **Royaume-Uni** : United Kingdom, Great Britain.
2. **en faisant installer** : in introducing.

XXII. Le Travail propre du vent.

(Work done by the wind unaided.)

1. **graphiques** : graphical data.
2. **solution à intervenir** : the desired solution.

XXIII. Les Nuages artificiels.

1. **0^m, 07,** read : sept centimètres *or* sept centièmes de mètre.
2. **soufre en fusion** : melted sulphur.
3. **0 fr. 80,** read : quatre-vingts centimes.

XXIV. Stérilisation de l'eau par la chaleur.

1. **agglomération** : population.
2. **centigrades.** To reduce centigrade to Fahrenheit. If above freezing-point, multiply the number of degrees by 9, divide the product by 5, and add 32 to the quotient.
3. **figure schématique** : diagram.

XXVI. Chaufferettes a la chaux.

1. **1^k, 5,** read : un kilogramme et demi.
2. **une amélioration apportée** : an improvement introduced.
3. **ménagé** : contained, set in.
4. **maintient appliqué contre** : holds fixed to.

XXVII. Cursomètre électrique.

1. **chemin parcouru** : distance traversed.
2. **une course de vitesse forcée** : a run at forced speed.
3. **ceci posé** : this granted.
4. **Edme** : Edmond.

XXVIII. Un Yacht en aluminium.

1. **en aluminium** : made of aluminium.
2. **10^m, 11,** read : dix mètres onze centimètres.

3. **o^{m}, 88,** read: 88 centimètres.
4. **est à trois:** is one of three (single-acting cylinders).
5. **organes moteurs:** driving, motive parts.
6. **enroulés en serpentin:** twisted into a coil.

XXIX. Le Pavage en bois.

1. **Landes:** a department in the southwest of France, area 3490 square miles. In the north it is occupied by heaths (landes) whence its name.
2. **rendus à pied d'œuvre:** delivered on the ground.
3. **les voies modérément passagères:** moderately traveled roads.

XXX. Bouée sonore automatique.

(Automatic sounding-buoy.)

1. **Gironde:** an estuary of western France, formed by the union of the Garonne and Dordogne.
2. **La Rochelle:** a fortified seaport of France, on the Atlantic, nearly mid-way between Nantes and Bordeaux.
3. **dont il est solidaire:** of which it is a solid part.

XXXII. Le Bassin de patinage "Le Pôle Nord" a Paris.

1. **Plaza de Toros** (bull-ring) at Madrid, stands outside the monumental gate of the Alcalá Str., one of the finest in Europe. It is a large amphitheatre, nearly, if not quite, circular. Its capacity is 18,000 people. The bull-fights are held there.
2. **Casino de Paris:** a fashionable club-house.
3, 4. **l'une d'allée, l'autre de retour:** the one for supply and the other for return.
5. **9, 5 kil.,** read: neuf kilos et cinq dixièmes *or* neuf kilos et demi.
6. **o°,** read: zero.

XXXIV. Liste des corps simples.

1. **partagée:** (synthesis is not yet so far) advanced.
2. **au premier jour:** any day.

XXXV. Machines a vapeur.

1. **tiennent tant à:** depend as much upon.
2. **à tour de rôle:** alternately, one by one.

3. **ramassées**: compact.
4. **livre passage**: makes room for (*lit.*, offers a passage).
5. **ne font que naître**: are only just born.

XXXVI. Applications industrielles de l'électricité.

A. Applications mécaniques.

1. **tirer parti**: utilize, profit by.
2. **avec l'intermédiaire de**: by the aid of.
3. 1°, 2°, 3°, 4°, 5°, 6°, 7°, read: premièrement, deuxièmement, etc.
4. **mis en jeu**: brought into play.
5. **synchronisme de marche**: synchronism of movement.
6. **administrations**: institutions.
7. **point d'arrêt**: end (*lit.*, finishing point).
8. **mettre à l'abri de**: to shelter from.

B. Applications physiques.

1. **en mettant à contribution**: by employing (*lit.*, calling into requisition.)
2. **faire jouer les mines**: to fire.

XXXVII. Qu'est-ce que l'électricité?

1. **Milet en Ionie**: Miletus, an ancient city in Ionia, a portion of the west coast of Asia Minor, adjoining the Aegean sea and bounded by Lydia on the east.

2. **Thalès**: Thales of Miletus is generally recognized as the first Greek to systematize and teach geometry, astronomy, and philosophy.

3. **Aristote**: Aristotle, perhaps the greatest ancient philosopher, born in Stagira, a Greek colony of Macedonia, in 384 B.C.

4. **Archimède**: Archimedes, the greatest mathematician and the most inventive genius of antiquity, was born at Syracuse, in Sicily, about 287 B.C.

5. **traité de magnete. De magnete** (lat.): concerning the magnet.

6. **Otto de Guéricke** (Göricke): an experimental philosopher, distinguished for his original discovery of the properties of air, was born at Magdeburg (Prussia), November 20, 1602. He was the first to observe repulsion between electrified bodies, and was the inventor of the first electrical machine.

7. **Volta, Alessandro,** an Italian physicist, was born at Como, on February 18, 1745. His reputation rests upon his invention, in 1799, of the instrument known as the Voltaic pile.

8. **envergure:** scope, breadth.

9. **Ampère, André-Marie,** the founder of the science of electrodynamics, was born at Lyons, in January, 1775.

10. **Ohm, Georg Simon,** was born at Erlangen (Bavaria), in 1787, and became in 1852 professor of experimental physics in the university of Munich.

11. **Sir William Thomson,** now Lord Kelvin, was born at Belfast in 1824, and is a very distinguished physicist. His quadrant electrometer, new absolute electrometer, and his reflecting galvanometer, are well known.

12. **Faraday,** chemist, electrician, and philosopher, was born at Newington (England) on the 22d of September, 1791. To him is due the first experimental machine for the mechanical production of electric currents.

13. **Pacinotti, Antonio:** born in 1860; devised a machine to produce an electric current continuous in character, and constant in direction and intensity. He is the inventor of a ring inductor, a remarkable improvement in magneto- and dynamo-electric machines.

14. **Gramme, Théophile:** the inventor of a new form of magneto-electric machine, known as the alternating-current machine.

15. **10%, read:** dix pour cent.

16. **Clerk Maxwell, James,** was born in 1831 at Edinburgh; died November 26, 1879. He became professor of experimental physics in Cambridge (England). His was one of the master-minds among the electricians of the new era.

17. **Hertz, Henry:** born on the 22d of February, 1857, at Hamburg (Germany), and is now a professor in the university of Bonn.

XXXVIII. Les nouveaux hygromètres.

1. **Tables de Régnault:** showing the specific heat of all the elements obtainable and of many compounds. Henri Victor Régnault (1811–1878) was born at Aix-la-Chapelle, and became professor of physics in the Collège de France.

2. **comportent:** imply.

3. **plus conducteurs:** better conductors.

4. **tubes en U de rechange:** reserve U-tubes.

5. **ascension aérostatique:** balloon ascension.

XXXIX. Le Diamant artificiel.

1. **pierre philosophale**: philosopher's stone.

2. **grand œuvre**: alchemy, philosopher's stone.

3. **Lavoisier, Antoine Laurent** (1743–1794), one of the founders of modern chemistry, was born in Paris, August 26, 1743.

4. **a pâli sur**: has grown pale over.

5. **Cap**: the Cape of Good Hope, a colony of Great Britain, forming the southermost part of Africa. Area, 181,592 square miles.

6. **Cañon Diablo**, in Arizona, 35° N. lat. and 111° W. long.

7. **Arts et Métiers** (Conservatoire des Arts et Métiers), in Paris, founded in 1060 by Henry I. It contains rich collections of models of inventions and specimens of all kinds of instruments and machines. Although the original purpose of the institution was merely the establishment of a collection, it was soon found that some direct instruction was also necessary in order to render the exhibition of practical utility to workmen and artisans of all kinds. Courses of public lectures, embracing all the various branches of industrial activity, have accordingly been instituted.

8. **auréoler**: to shed lustre upon.

9. **brasseur d'affaires**: schemer.

XLII. Les Constructions urbaines (city buildings) aux États-Unis.

1. **placée en retrait**: set back.

2. **balcons à claire-voie**: balconies with floor-openings.

3. **à titre d'essai**: as an experiment.

4. **phalanstère**, or common building in which 1600 persons were to live according to François Charles Marie Fourier's (1772–1837) scheme, one of the most celebrated social writers. Society, according to his plan, is to be divided into departments (French, *phalanges*), each department numbering about 1600 persons.

5. **il est entré**: there has been used.

6. **qui lui fait pendant**: which forms a counterpart to it.

7. **vue d'ensemble**: general (comprehensive) view.

8. **en retrait les unes sur les autres**: each one set back from the edge of the other.

9. **du tout au tout**: entirely.

10. **constructions civiles**: town buildings, works of civil engineering.

11. **accuse**: acknowledges.

XLIII. L'Électricité industrielle.

1. **Coulomb** is the unit of a circuit of one ampère passing a given point in one second. Charles Coulomb (1736–1806), a distinguished French natural philosopher, was born at Angoulême.

2. **nous aurons à faire intervenir**: we shall have to take into consideration.

3. **watt** is the unit of energy. When the number of volts is multiplied by the number of ampères one gets the energy in watts; 746 watts represent one horse-power. James Watt (1736–1819), the inventor of the modern condensing steam-engine, was born at Greenock on the 19th of January, 1736.

4. **Joules**: named after James Prescott Joule, an English physicist, born at Salford on the 24th of December, 1818.

XLIV. L'Électricité dans la maison.

1. **n^{os}**: numéros.

2. **serre d'appartement**: conservatory (*lit.*, house-conservatory).

3. **o fr. 0015**, read: quinze dix-millièmes de franc.

4. **cylindres en poterie concentriques**: concentric cylinders of pottery.

5. **en tôle de fer (emboutie)**: formed of sheet-iron (hollowed out).

6. **ménagée**: maintained.

7. **puissance utile maxima**: the maximum effective power.

8. **manœuvre**: device.

9. **la vue en plan et en coupe**: a general view and a section.

10. $$\frac{\text{o fr. } 70 \times 16}{800} = \text{o fr. } 014,$$

read: 70 centimes multiplié par seize, divisé par 800, est égal à quatorze millièmes de franc.

11. **résistances**: resistances.

12. **fils d'amenée**: heating wires.

13. **Cristal Palace**: Crystal Palace, the large building composed chiefly of glass and iron, erected in Hyde Park, London, for the universal exhibition of 1851, and subsequently reërected at Sydenham, near London, as a permanent institution for public instruction and entertainment.

14. **faire une conférence**: to give a lecture.

15. **tarif de vente**: price.

16. **prises de courant**: translating devices.

17. **distribution urbaine**: town supply.
18. **fils conducteurs d'amenée**: conductors furnishing the current.
19. **faisant fonction de**: acting as.
20. **bouchon de prise de courant**: plug for taking the current.
21. **dynamo-électrique à main**: hand-dynamo.

XLV. Le Pont Washington a New York.

1. **Pont du Forth**: the Forth bridge has two double-track canteleverspans of 1700 feet each. The Forth is a river of Scotland which expands into the arm of the sea called the Firth of Forth.

2. **Pont Britannia**: which carries the Chester and Holyhead Railroad over the Menai Straits. It led to a complete revolution in engineering practice. Its span is 465 feet.

XLVI. Nouvelle Voiture mue par un moteur à pétrole.

1. **comporte**: admits of, carries.
2. **pour la commande**: for the control of.
3. **calée**: fixed straight.
4. **par kilomètre de parcours**: per kilometer of travel.

XLVII. Le Viaduc de la Cerveyrette.

1. **Briançon** (Hautes-Alpes). Briançon, a town of France near the Italian frontier, a fortified place, a kind of Alpine Gibraltar. **Hautes-Alpes** (Upper Alps), a department of France, forming part of the southeast of Dauphiné and a small part of Provence. Area, 2114 square miles.

2. **mise en place**: placing, setting up.

VOCABULARY.

[Technical terms which are spelt alike in French and English are not included in this vocabulary. As a rule they may be found in standard dictionaries.]

ABBREVIATION. - *Adj.* = adjective, is put after some words which otherwise might be taken for nouns.

A

Accouplement, coupling, coupler.

— **à friction,** friction-coupler.

accumulateur électrique, accumulator, storage battery.

acétate, acetate.

A salt formed by the union of acetic acid with a base.

— **de soude,** sodium acetate, acetate of soda.

acide, *adj.* acid.

— acid.

A name given to a large number of compounds which do not necessarily possess a sour taste.

— **étendu,** dilute acid.

— **azotique,** nitric acid.

— **carbonique,** carbonic acid.

— **chlorhydrique,** hydrochloric acid, muriatic acid.

— **formique,** formic acid.

— **phosphorique,** phosphoric acid.

— **phosphorique anhydre,** phosphoric anhydride, phosphoric oxide, phosphoric pentoxide.

— **stéarique,** stearic acid.

— **sulfurique,** sulphuric acid.

aciduler, to acidulate.

To render somewhat acid or sourish.

acier doux, soft steel.

— **fondu,** cast-steel, ingot-steel.

action, à simple action, single-acting.

A work is done in only one direction during a stroke.

actionner, to run, to move, to work, to drive.

aérien, aerial, overhead.

aérodynamomètre, aerodynamometer.

A device for measuring the mechanical effects of the motion of gases, especially the atmosphere.

aérostatique, aerostatic.

Pertaining to aërostatics, the science which treats of the weight, pressure and equilibrium of air and other elastic fluids and of the equilibrium of bodies sustained in them.

affinité, affinity.

That force by which the atoms of bodies of dissimilar nature unite in certain definite proportions to form a compound different in its nature from any of its constituents.

affourcher, to moor.

agent de train, train official, train hand.

ailette, fan, vane.

aimant, magnet.

aimantation, magnetization.

aimanter, to magnetize.

air ambiant, surrounding air.

— **atmosphérique,** atmospheric air.

— **comprimé,** compressed air.

aire, form, bed, floor.

alimentation, feed, feeding.

— **d'eau,** water-feed.

alimenter, to feed.

alliage, alloy.

allotropique, allotropic.

Relating to allotropy, the property which certain chemical elements have of existing in two or more distinct forms, each having certain characteristics peculiar to itself.

allumage, lighting.

allume-cigare, cigar-lighter.

allumeur, *adj.* kindling.

allure, trim, working, working condition.

allure, speed, velocity.

alternateur, alternate.

alternatif, alternate.

âme, core, web.

— **pleine,** solid web.

amiante, amianthus, asbestos.

A mineral somewhat resembling flax, composed of delicate filaments.

ammoniaque, ammonia.

ammoniure d'or, fulminate of gold.

ampère, abbreviated **amp.,** ampere, the unit of volume of current.

— **seconde,** ampere-second, one ampere passing a given point for one second.

ampoule, ampul, globe.

ancre affourchée, small bower (anchor).

anémomètre, anemometer, wind-measurer.

For indicating the velocity or pressure of the wind.

anhydre, anhydrous.

Destitute of water, especially destitute of the water of crystallization.

annulaire, annular, ring-shaped.

anode, pôle positif, anode, positive pole.

antimoine, antimony.

appareil à pompes, pumping apparatus.

— **de chauffage,** heating apparatus, stove.

— **d'éclairage,** lighting apparatus.

— **de démonstration,** demonstration apparatus.

— **en dérivation,** multiple arc apparatus.

— **à signal,** signalling apparatus.

— **d'utilisation,** apparatus for service.

appareilleur, maker of apparatus.

appliques, fixtures.

appui d'un arc, support, buttress.

arbre, arbor, beam; shaft, axle-tree.

— **de couche,** middle shaft.

— **intermédiaire,** middle shaft.

— **moteur,** driving shaft.

arc voltaïque, Voltaic arc.

arche fluviale, river span.

arête, edge.

vive arête, full edge, sharp edge.

argenture, silvering, plating, argentation.

armature, armature.
A bar or ring of soft iron, around which coils of insulated copper wire have been wound.
armer de, to provide with.
arpent, an old French square measure (about 1 acre and 1 rood of land).
articulation, joint.
articuler, to articulate, to joint.
ascenseur, elevator.
— **électrique,** electrical elevator.
aspirateur, suction apparatus, suction-pipe.
aspirer l'air, to exhaust the air.
assemblage, assemblage, joining, placing in position.
assembler, to join.
assise, bed, layer, course.
assujettir, to wedge, to fasten, to fix, to render stable.
atelier, shop, work-shop.
atteler à (un moteur), to attach.
atterrir, to land.
automatique, automatic.
avant-train, fore-carriage.
aviation, air-navigation.
axe de rotation, axis of rotation.
azote, nitrogen.

B

Bain, bath.
In chemistry, an apparatus for modifying and regulating the heat in various chemical processes, by interposing a quantity of sand, water, or other substance between the fire and the vessel intended to be heated.
— **liquide de fer doux,** bath of soft iron.
balai, brush, mason's brush.
balancement, balancing, oscillation.
balancier, beam, lever.
balise, beacon.
bande, band, ribbon, slip, rail.
barboter, to bubble.
base, base.
A compound substance which unites with an acid to form a salt.
— **de sustentation,** base of support.
basique, *adj.* basic.
Performing the office of a base in a salt; having the base in excess; having more than one equivalent of the base for each equivalent of acid.
bassin de patinage, skating-basin (pond).
bâti, frame, frame-work.
battant, bell-clapper.
batterie d'accumulateurs, secondary battery.
béton, beton, concrete, grubstone-mortar.
bief, level, reach.
— **supérieur,** upper level, higher pond.
— **inférieur,** lower level, lower pond.
bielle, connecting-rod.
bille, bar, beam, support.
bioxyde d'azote, nitric oxide, dioxide of nitrogen.
bobine de fil métallique, coil of wire (spool).
— **d'induction,** induction-coil.
— **de Ruhmkorff,** Ruhmkorff's coil.
bois de charpente, timber.
boîte à vapeur, slide-box, steam-chest, steam-box.
bore, boron.

borne, terminal, binding-screw.
bouée sonore automatique, automatic sounding-buoy.
bouilloire, stew-pan.
bouillotte, boiler, steamer, retort.
— **à eau chaude,** hot-water boiler.
bouquet de plafond, ceiling group.
bouton-poussoire, push-button.
braise, live charcoal, live coals.
branche d'un tube, leg of a tube.
brasque, charcoal-powder.
brevet d'invention, patent.
brique posée de champ, brick laid on edge.
— **réfractaire,** fire-proof brick.
bromoforme, bromoform.

A colorless limpid liquid of agreeable odor, formed by the action of bromine and potassium hydrate on wood-spirit or ordinary alcohol.

bronze, bronze, hard brass.
brûleur, burner.
— **de Bunsen,** Bunsen burner.

C

Câble d'acier, cable of steël-wire.
cage d'escalier, stair-case.
caisse, chest, box.
caisson, caisson, cassoon.
— **à air comprimé,** compressed-air cassoon.
calcaire, lime-stone.
calciner, to calcine.

To convert into lime by the action of heat; treat lime-stone by calcination for the formation of lime.

caler, to fix, place straight.
calorie, calory.

The quantity of heat necessary to raise the temperature of a kilogram of water from 0° to 1° centigrade.

calorifère, heating apparatus, heater.
calorifique, *adj.* calorific.

Capable of producing heat; causing heat; heating.

calorique, caloric, heat.

Pertaining to heat or the principle of heat.

canal, pipe.
canalisation, system of pipes.
caniveau, gutter-stone, culvert.
cantonnier, watchman.
caractère, printing-type, type, character.
carbonado, carbon, black diamond.
carbonate, carbonate.

A compound formed by the union of carbonic acid with a base.

— **de cuivre,** carbonate of copper.
— **de soude,** carbonate of soda, soda of commerce.
carbone, carbon.
carburateur, carbureter, carburetor.

An apparatus for adding hydrocarbons to poor gases, for the purpose of producing an illuminating gas.

carburation, carburization.

The process of adding carbon, especially to iron.

carburer, to carburize.

To cause to unite with carbon or a hydrocarbon.

carcasse, frame-work.
carillon, chimes.
carreau de marbre, marble slab.
carré de vigne, square of the vineyard.
case (casse), letter-case.

cémentation, cementation, converting.

centre de gravité, center of gravity.

céramique, ceramic art.

The manufacture of porcelain, stoneware, earthenware and terra-cotta.

céramique, *adj.* ceramic.

chaleur différée, deferred heat.

chalumeau à oxygène, oxygen blowpipe.

chambre à air, air-chamber.

champ d'action magnétique, magnetic field.

The space through which the force or influence of a magnet is exerted; also the space about a conductor carrying an electric current in which magnetic force is also exerted.

charbon de sucre, charred sugar (charcoal from sugar).

charbonneux, carbonaceous.

Pertaining to or consisting of carbon; containing carbon or coaly matter.

charge d'eau, height, head of water.

charpente, timber-work, framing, frame-work.

chaudière, steam-boiler, boiler.

chauffage, heating, warming, firing, stoking.

chaufferette, foot-warmer.

— **à acétate,** acetate foot-warmer.

chaufferie, heating apparatus.

chaux, lime, oxide of calcium.

— **éteinte,** slacked lime.

— **grasse,** fat, white lime.

— **vive,** quicklime.

chemin de fer aérien à force centrifuge, aerial railroad worked by centrifugal force.

cheval de force, horse-power.

chevalet, trestle, frame.

cheval-vapeur, horse-power.

cheville en fer, iron-pin.

chimie, chemistry.

chimiquement, chemically.

chlore, gaz chlore, chlorine.

chlorhydrate d'ammoniaque, chloride of ammonium.

chlorhydrique, *adj.* hydrochloric, muriatic.

chlorure, chloride.

A binary compound of chlorine with another element.

— **d'antimoine,** chloride of antimony.

— **d'arsenic,** chloride of arsenic.

— **de calcium,** chloride of calcium.

— **de chaux,** chloride of lime, bleaching-powder.

— **de cuivre,** chloride of copper.

— **d'or,** chloride of gold.

choc, impact, collision.

chrôme, chrome, chromium.

chronographe, chronograph.

An instrument for recording the exact instant in which an event occurs.

chronomètre, chronometer.

A time-keeper of great accuracy.

chronoscope, chronoscope.

An instrument for measuring extremely short intervals of time.

chute d'eau, fall of water, height of water.

ciment, cement.

circuit électrique, electrical circuit.

The path of an electric current; the arrangement by which a current of electricity is kept up between the two poles of an electrical machine or of a voltaic battery.

— **inducteur,** inducing circuit.

— **induit,** induced circuit.

— **primaire,** primary circuit,

circuit d'utilisation, supply circuit.
cire d'Espagne, sealing-wax.
clapet, clack-valve, flap-valve.
— **articulé,** articulated valve.
clef d'un arc, key-stone, summit, apex, center-voussoir.
clichage, cliché casting.
cloche, bell-shaped glass jar.
cloison, compartment.
Cœsium, Caesium.
colonne en fer, iron pillar.
comble, roofing, roof.
combustible, fuel.
commande (partie d'une machine qui en commande une autre), driving-gear, driving-wheel.
commander, to operate, control.
commutateur, commutator, switch, circuit-changer, key.
(se) comporter, to act, to behave.
composé, compound.
compresseur, compressor.
compteur, meter.

An instrument for recording or indicating automatically the quantity, force, or pressure of a fluid passing through it or actuating it.

— **électrique,** electric meter.
concasser, to pound.
condenseur, condenser.
conducteur, conductor.
conducteur, conductrice, *adj.* conducting.
conduite d'eau, conduit of pipes, water-work.
cône, cone.
congeler, congeal, freeze.
constante capillaire, capillary constant.
constructeur, designer, constructor.
contact de cuivre, copper contact.
continu, continuous.
contre-ventement, cross-beams.
coque, hull (of a vessel).
cordeau, cord, line, tape.
cornue, retort.
corps composé, compound body.
— **de lettre,** body of a letter.
— **de pompe cylindrique,** pumping cylinder.
— **déterminé,** definite body.
— **isolant,** insulator.
couche (assise), layer, coating.
mince couche, film.
couder, to form a knee or angle, to bend at right angles.
coulant de serviette, napkin-ring.
coulomb, coulomb.

The unit of a circuit of one ampere passing a given point in one second.

coup de feu, burning a boiler (burning the metal of a boiler).
coup de piston, stroke, piston's travel, length of stroke.
coupe, section.
— **longitudinale,** longitudinal section.
— **transversale,** cross-section.
coupelle, cupel.
— **d'os,** bone-ash cupel.
couple (élément), element.
— **voltaïque,** voltaic element.
courant alternatif, alternate current.
— **alternateur,** alternate current.
— **inducteur,** inducing, main current.
— **induit,** induced current.

A current excited by the variation of an adjacent current or of the surrounding magnetic field.

— **polyphasé,** polyphase current.
couronne, hoop, ring.
crampon, nail, hook.

cran d'arrêt, catch.

crayon de charbon, blue black.

A well-burnt and levigated charcoal prepared from vine-twigs.

créosoter, to creosote.

To treat with creosote, a substance prepared from wood-tar.

creuset, crucible, melting-pot.

creux (d'un navire), depth.

— *adj.* hollow, concave, cored.

cristallin, crystalline.

croisé, at right angles.

croisillon, cross-bar.

croquis, rough sketch.

cuiller à pot, ladle.

cuivrage, coppering, copper-sheathing.

cuivreux, cupreous.

Having the properties of copper; consisting of or containing copper.

culasse du cylindre, cylinder-head.

culbuteur, tumbler.

culée, abutment.

culot, residuum, bottom.

cursomètre, pedometer.

An instrument by which paces are numbered as a person walks; the distance is thus approximately recorded.

curviligne, curvilinear.

cyanure d'or, cyanide of gold.

cylindre, cylinder, roller, roll.

— **bouilleur**, heating retort.

— **homogène**, solid cylinder.

— **piston**, piston-cylinder.

cylindrique, cylindric, cylindrical.

D

Débit, output.

débiter, to produce, put out; to saw, cut up timber.

déblais, rubbish, earth dug from an excavation.

débrayage, disengaging, disconnecting, throwing out of gear.

débrayer, to disconnect, disengage, throw out of gear.

décaper, to scour.

dédoubler, to separate, to decompose.

déferler, to break.

déformable, deformable.

Capable of change of form.

dégagement, disengagement, outflow, escape.

— **de chaleur**, evolution of heat.

(se) dégager dans, to escape into.

démarrage, starting (a train, etc.).

dénivellation, change of level.

déplacement, shifting, displacement.

— **(d'un navire)**, displacement, draught.

dépôt, sediment, deposit, settings.

dérivation, shunt, earth-communication, derivation.

Shunt is a conductor joining two points in an electric circuit and forming a path through which a part of the current will pass.

(en) dérivation, in shunt, in parallel or multiple-arc system.

(fil de) dérivation, shunt-wire.

désengrener, to throw out of gear, to disengage, to uncouple wheels.

desservir un appareil, to run, work a machine.

destination, use, application.

détremper, to soften, to anneal, moisten, slack.

détritus, detritus.
Loose fragments of rock.

différence de potentiel, potential difference.
The difference in degree of electrification of two bodies, or parts of the same body, which produces or tends to produce a flow of electricity or an electrical current between them.

dilatation, expansion, dilatation.

diluer, to dilute.

disque-signal, signal-disk, colored glass-disk.

dissolution, solution.
A fluid or substance which dissolves other bodies or renders them liquid.

dissolvant, solvent, dissolvent.

distribution, distribution, distributing.

— **à potentiel constant,** distribution at constant potential, shunt-system.
Potential, at any point near or within an electrified body, is the quantity of work necessary to bring a unit of positive electricity from an infinite distance to that point.

distribution à intensité constante, distribution at constant intensity.

— **par réseau,** distribution by branched conductors.

dorure, gilding.

— **au mercure,** gilding by amalgamation, dry gilding.

doser, to treat with.

ductilité, ductility.

dydyme, didymium.

dynamo à main, hand-dynamo.

dynamo électrique, dynamo-electric.
Producing force by means of electricity; also produced by electric force.

dynamo à courants alternatifs, alternate-current dynamo, alternator.

E

Eau de chaux, lime-water.

— **de condensation,** waste-water.

— **forte,** aquafortis (strong water).
A name given to weak and impure nitric acid.

eaux basses, low water.

échafaudage, assemblage, scaffolding.

échangeur, sterilizing cylinder.

(s')échauffer, to become heated.

éclairage, lighting.

écluse, lock.

— **à air,** air-lock.

écoulement, efflux.

écouler, to flow out, to run off.

effet (d'une machine), effect, power.

à double effet, double-acting.
Effective work is done on both the forward and the return stroke.

à simple effet, single-acting.

effet perdu, lost power, effect.

— **utile,** useful effect, effective power, duty.

électrique, electric, electrical.

électriquement, electrically.

électro-aimant, electro-magnet.
A magnet which owes its magnetic properties to the inductive action of an electric current.

électro-capillaire, electro-capillary.
Designating certain capillary phenomena produced by electricity.

électro-chimie, electro-chemistry.
Chemistry as concerned with electricity.

électro-chimique, electro-chemical.

électrode, electrode.

Applied to the two ends of an open electric current.

électrodynamique, electro-dynamics.

électro-dynamique, *adj.* electro-dynamic.

électrolyse, electrolysis.

Electrolysis or the separation of a compound body into its constituent parts by the passage of an electrical current.

électrolyte, electrolyte.

A compound which is decomposable by an electric current.

électrolytique, electrolytic.

Pertaining to or of the nature of electrolysis.

électromagnétique, electromagnetic.

électrométallurgie, electrometallurgy.

The application of electrolysis to the arts.

électromètre capillaire, capillary electrometer.

An electrometer measures the difference of electrostatic potential between two conductors.

électron, electron, amber.

électronégatif, electronegative.

électropositif, electropositive.

électrotonic, electrotonic.

Of or pertaining to electrical tension.

électro-trieur, electric sorter.

électrotypie, electrotypy.

The process of making electrotypes or plate copies by electrical deposition.

élément de Bunsen, Bunsen's cell.

— de Daniell, Daniell's cell.

embarcation, boat.

emboutir (amboutir), to chase, to beat out, to hollow out.

embrayage, engaging and disengaging-coupling-clutch, connecting-gear.

embrayer, to engage, throw in gear.

empierrer, to fill up with stones, to place a layer of stones, to metal a road.

enduire, to coat, to put over.

enduit, coating, incrustation, surfacing.

engendrer, to generate, to cause.

engin, engine.

englober, to embrace, to contain.

engrenage, gear.

engrener (s'engrener), to gear, to catch, to lock together.

engrenure, catching, locking of cog-wheels.

énoncé, statement.

enrayage, brake.

enregistrer, to register.

enregistreur, register.

— *adj.* (self-)registering.

enroulement, winding, number of turns.

(s')enrouler sur, to pass over, round, to coil on, to wind upon.

entretien, maintenance.

enveloppe (d'une machine), jacket, case, casing.

— cylindrique, cylindrical sheathing.

— de bois, wooden casing.

éprouvette, test-glass, test-tube.

être en équilibre, to be in equilibrium.

équilibrer, equilibrate.

équilibriste, balancer.

équipage mobile, movable machine.

éraillure, mark.
espace parcouru, space traversed.
essence de térébenthine, essence of turpentine.
essieu, axle, axle-tree.
— **moteur,** driving-axle, driving-shaft.
étalon, standard, gauge, scale.
— **de force,** standard of force.
étanchéité, tightness, water-tightness.
état hygrométrique, hygrometric state, degree of saturation.
étendre, to dilute.
être de, to be equal to.
— **terminé par,** to terminate in.
évacuation (de l'air), exhaustion.
évaporer, evaporate.
excentrique, eccentric.
expérimentateur, experimentalist.

F

Face latérale, side.
facies, the whole outside figure.
fagot, bundle.
— **allumeur,** kindling bundle.
faire construire, to construct.
— **couler,** to tap, to run off.
— **écouler,** to run off.
— **marcher,** to start.
— **rougir,** to give heat.
— **tourner,** to turn.
— **vibrer,** to set in vibration.
fer-blanc, tinned sheet-iron, tinplate.
fer doux, soft iron.
— **à friser,** curling-iron.
— **fondu,** cast-iron.
— **forgé,** forged iron, wrought iron, hammered iron.
— **galvanisé,** galvanized iron.
Sheets of iron coated first with tin by a galvanic process, and then with zinc.
— **météorique,** meteoric iron.
ferme, truss, girder, compound beam.
ferraillement, thrust.
ferrailler, to be injured (by thrust).
feuille de tôle, plate of sheet-iron.
figure, diagram, figure.
— **schématique,** (explanatory) diagram.
fil, fil de métal, wire.
— **aérien,** overhead wire.
— **conducteur,** conducting wire.
— **d'archal,** drawn wire.
flèche d'un arc, height of an arch, pitch.
flotteur, float.
fluor, fluorine.
fluvial, *adj.* pertaining to a river, river. . . .
fonctionnement, working, work.
fonctionner, to work.
fondation, foundation.
fondations (d'une machine), bearers, sleepers.
fonder dans, sink into.
fondeur de cloches, bell-founder.
fondre, to fuse, to melt, to smelt.
fonte, pig-iron, crude iron, raw iron; cast-iron.
en fonte, made of cast-iron.
force centrifuge, centrifugal force.
— **de cheval,** horse-power.

force électromotrice, electromotive force.
— **électromotrice induite,** induced electromotive force.
— **motrice,** motive, moving force.
— **retardatrice,** retarding, retardative force.
fouler, to press in.
four, furnace, oven.
fournaise, (large) melting-furnace.
fourneau, furnace, stove, range.
frais d'exploitation, working expenses.
frein excentrique, eccentric-brake.
frigorifique, freezing, cold-producing.
fusée, fuse.
fusion, fusion, melting.

G

Gaine, groove.
gaine de ventilation, ventilating flue.
galée, galley.
galet, friction-roller, roller.
chaîne de galle, chain-wheel.
galvanique, galvanic.
Same as voltaic. Pertaining to current electricity as produced by a chemical battery.
galvanisation, zincking, galvanizing of iron and other metals.
galvanoplastie, galvanoplasty.
Same as electrotypy.
galvanoplastique, galvanoplastic.
Pertaining to the reproduction of forms by electrotypy.
garde-barrière, gate-keeper.
gaz ammoniac, ammonia-gas, gaseous ammonia.
— **de l'éclairage,** lighting gas, illuminating gas.
gaz de houille, coal-gas.
— **inerte,** inert gas.
— **tonnant,** oxyhydrogen gas.
gazoline, gasoline.
The lightest volatile liquid product commonly obtained from the distillation of petroleum.
généralité, general application.
générateur, *adj.* generating.
générateur, generator.
Any vessel, apparatus or machine for the production of gas, steam and electricity.
— **électrique,** electric generator.
— **mécanique,** mechanical generator.
génie civil, civil engineering.
girouette, vane.
glace (surface plane), seat.
— **platinée,** platinized surface.
glissière, slide-face (of a steam-cylinder).
— slide-bar, slide, guide.
glucium, glycium, glucinum.
gouvernail, steering-handle, vane.
graissage, oiling, greasing, lubricating.
gramme (abbr. **gr.**), gramme (15.432 grains).
graphiquement, graphically.
graphite, graphite.
One of the forms under which carbon occurs in nature, also known as plumbago and black-lead.
gravier, gravel, coarse sand.
gravité, gravity.
gravure, engraving, art of engraving.
— **à l'eau forte,** etching, art of etching.

(se) grenailler, to be granulated.
grenailles, granulated metal.
grès, sandstone, grit.
grillage, roasting, calcining, burning.
grisou, fire-damp.
grue, crane.
gyroscopique, gyroscopic.

Illustrating or pertaining to the dynamical laws of rotation.

H

Hauteur de la chute d'eau, height, head of water.
hectare, hectare (2.471 acres).
hélice, helix, screw-line, helical curve.
contourner en hélice, to coil in a spiral form.
hétérogène, heterogeneous.
homogène, solid, uniform, homogeneous.
horloge-type, clockwork-type, regulating clock.
houille, pit coal, black coal.
hydratation, hydratation.

Same as hydration. The process of combining or impregnating with water.

(s')hydrater, to combine or impregnate with water, to form into a hydrate, to become hydrated.
hydraulique, hydraulics, mechanics of fluids.
— *adj.* hydraulic.

Pertaining or relating to fluids in motion, or to hydraulics.

hydrocarbonate de potasse, potassium hydrocarbonate.
hydrocarbure, carburetted hydrogen, hydrocarbon, carbo-hydrogen.
hydrocarburer, to hydrocarbonize, to be charged with hydrocarbon.
hydrogène carboné, marsh gas.
— **bicarboné,** olefiant gas.
hydroxide de mercure, hydroxide of mercury.
hygromètre, hygrometer.
— **à absorption,** hygrometer of absorption.
— **à condensation,** condensing hygrometer.
hygrométrie, hygrometry.

The determination of the humidity of bodies, embracing also the theory and use of such instruments as have been invented for this purpose.

hygrométrique, hygrometrical.

Pertaining to hygrometry or the state of the atmosphere as to moisture.

I

Imbiber d'huile, to saturate with oil.
imbriquer, to imbricate.

Lying one over another or lapping, like tiles on a roof.

immeuble, house.
imperméable, impervious, (air-, water-) proof, (air-, water-) tight.
impulsion, impulsion, impetus.
incandescence, white-heat, incandescence.
incandescent, incandescent.

inclinaison, gradient, descent, declivity, inclination, slope, rise.

inclusion, inclusion.

That which is inclosed within the mass of another.

incongélable, incongealable.

Which cannot be frozen.

incruster, to incrust, to incrustate.

To form a crust or coating on the surface of, to coat, overlay.

inducteur, *adj.* inducing.

— inductor.

Any part of an apparatus which acts by induction on another or is so acted upon.

système d'inducteur, field.

induction, induction.

The process by which a body having electrical or magnetic properties calls forth similar properties in a neighboring body without direct contact.

induit, armature.

infirmer, to point out the weakness of.

infusible, infusible.

Incapable of being dissolved or melted.

ingénieur électricien, electrical engineer.

— **architecte,** engineering architect.

installation mobile, movable plant.

intercaler, intercalate.

To insert between others.

intermoléculaire, intermolecular.

Between molecules; among the smallest particles of a substance.

interrupteur, interrupter, contact-breaker.

iode, iodine.

iodure d'argent, iodide of silver.

— **de potassium,** iodide of potassium.

irisation, irisation; the process of rendering iridescent; iridescence.

isolation, insulation.

That state in which the communication of electricity or heat to other bodies is prevented by the interposition of a non-conductor.

isolement, insulation.

isoler, to insulate.

J

Jante (de roue), rim, felloe, tire.

jetée, mole, jetty, pier.

jeter un pont, to form, lay, construct, throw a bridge.

jointif, jointed.

K

Kilogramme (= 1000 grammes), kilogram (2.2046 pounds).

kilogrammomètre, kilogrammètre, kilogrammeter.

kilomètre, kilometer (0.62137 mile).

kilowatt, kilowatt (1000 watts).

kilo-watt-heure, kilo-watt-hour.

L

Lame, thin plate, lamina, blade.
— **de marbre,** marble slab.
— **de métal,** metal-plate, plated metal.
— **de platine,** strip of platinum.
— **de turbine,** plate, blade of a turbine.
lamelle, small lamina.
lampe à arc, arc-lamp.
— **à incandescence,** incandescent lamp.
lance, pipe.
au large de, off.
levier, lever, handle.
ligne aérienne, overground wire, overhead line, aerial line.
limailles de fer, iron sand or dust.
linteau, cap, head-piece.
liquéfacteur, *adj.* liquefying.
liquéfier, to smelt, melt, fuse.
liqueur alcaline, alkaline liquid.
litre, liter (.908 quart or 1.0567 quarts).
longeron, string-piece, sleeper.
lumière électrique, electric light.
lustre, hanging-chandelier.
lustrerie, chandeliers.

M

Machine à balancier, beam-engine.
— **à basse pression,** low-pressure engine.
— **à condensation,** condensing steam-engine.
— **à cylindre,** cylinder-engine.
— **à cylindre et à piston,** cylinder and piston engine.
— **à découper,** cutting-press.
— **à détente,** expansion-engine.
— **à feu,** steam-engine (engine actuated by fire).
— **à forer,** boring-machine.
— **à gaz,** gas-engine.
— **à haute pression,** high-pressure engine.
— **à moyenne pression,** middle-pressure engine.
— **à rotation,** rotatory steam-engine.
— **à signal,** signalling machine.
— **à signaux,** signal-box.
machine de Ruhmkorff, Ruhmkorff machine.
— **dynamoélectrique,** dynamo-electric machine.
— **frigorifique,** refrigerating-machine.
— **horizontale,** horizontal engine.
— **oscillante,** oscillating-engine.
— **sans condensation,** non-condensing engine.
— **sans détente,** non-expansive engine.
— **verticale à colonnes,** upright column engine.
machine-outil, machine-tool.
machiniste, machinist.
maçonner, to wall, to make a wall, to set bricks, to set stone-work.
maçonnerie, masonry.
madrier, thick board, plank, prop.
magnésie, magnesia, talc-earth.
maille, link of a chain.

maillon, link.
manche (manette), handle, haft, hilt.
maniement, (skill in) handling.
manivelle, crank, handle.
manœuvre, management, working, exercise, work.
manœuvrer, to work.
manufacturier, *adj.* manufacturing.
marche, motion, working, working-order.
— **courante,** ordinary running.
mettre en marche, to start (the engine).
marcher, to work.
marteau d'eau, water-hammer.
massif de fondation, foundation-mass, pier.
— **de maçonnerie,** solid masonry, masonry foundation.
matériel d'imprimerie, printing material.
matière première, raw material.
maxima, maximum.
mécanique, mechanics.
— *adj.* mechanical.
mécaniquement, mechanically.
mélange, mixture, mixing.
ménisque, meniscus.
A crescent-shaped body.
— **capillaire,** capillary meniscus.
menuiserie, joinery, joiner's work.
métallifère, metalliferous.
Producing or yielding metal.
métalliquement, metallically.
métallurgie, metallurgy, science of smelting.
métallurgiste, metallurgist.
milieu, medium.
milligramme, milligram (.0154 grains).
millime, $\frac{1}{1000}$ of a franc or $\frac{1}{10}$ of a centime.
mine de plomb, lead.
minoterie hydraulique, hydraulic flour mill.
miroir réflecteur, reflector.
mise en place, putting together, erection.
— **en service,** putting into use.
mobile, moving body.
— *adj.* moving, movable.
— **autour de,** turning on.
molybdène, molybdenum.
moment, moment.
Effect; avail.
montage (des machines), erecting, fitting up.
Montagnes Rocheuses, Rocky Mountains.
montant, stanchion, support.
monte-escalier, electric stair-lift (stair-climber).
monter (une machine), to erect or fit up an engine or machine.
monture (de vélocipède), frame.
moteur, motor.
— **à air chaud,** hot-air motor.
— **à gaz tonnant,** explosive-gas motor.
— **à pétrole,** petroleum-motor.
— **à vapeur,** steam-motor.
— **ventilateur,** ventilating-motor.
mouiller, to cast anchor, to anchor, moor.
mouler en creux, to make impressions.
mouvement ascensionnel, upstroke, ascending motion.

mouvement de rotation, rotary motion, rotation.

— de translation, motion of translation.

mouvement de va-et-vient, alternate motion, backward and forward motion, motion to and fro.

N

Neutre, neutral.

In chemistry, exhibiting neither acid nor alkaline qualities.

niveau superficiel, surface level.

niveau (de chaudière), water-level, water-mark.

noyau, core (newel).

noyer, to sink in.

O

Ochre (ocre) rouge, red ochre.

ohm, ohm.

The unit of electrical resistance. Divide the number of amperes by the number of volts to obtain the resistance in ohms.

onde lumineuse, light-wave.

ondulation, undulation, waving.

or battu, leaf gold, beaten gold.

organe moteur, driving part.

orientation (de la turbine), trimming, placing, setting.

orifice, orifice, opening, hole, pipe, nozzle.

outillage, plant, tools.

ouverture (d'air), air-hole.

oxydable, oxidizable.

Capable of being oxidized.

oxydation, oxidation.

The act or process of oxidizing, or causing a substance to combine with oxygen.

oxyde de carbone, carbonic oxide, protoxide of carbon.

P

Palier, block, bearing, horizontal track.

en palier, on a level.

palier horizontal, track, level.

paliers de l'arbre, bearings of the shaft.

papier d'émeri, emery-paper.

— de tournesol, litmus-paper.

parabole, parabola.

parabolique, parabolic, parabolical.

paradoxalement, paradoxically.

parallélisme des couples, parallelogram of couples.

parallélogramme articulé, jointed parallelogram.

parcours, trip, road, way covered.

paroi, side, partition.

parquet de bois, wooden floor.

passerelle, foot-bridge, stile.

pavage, paving.

pavé, pavement, paved floor, block.

pendule, pendulum.

pendulaire, *adj.* pendular.
Of or relating to a pendulum
perspective, perspective (drawing).
pesée, weighing, weight.
phosphate, phosphate.
A salt of phosphoric acid.
phosphore, phosphorus.
pièce (d'acier), support (of steel).
— **(de machine)**, piece.
— **de rechange**, duplicate, spare-piece.
— **(d'un logement)**, room.
pièces de contre-ventement, cross-beams.
pignon, pinion.
— **conique**, bevel pinion.
pile de Bunsen, Bunsen's battery.
— **électrique**, electric battery, Volta's pile.
— **fluviale**, river pier.
— **hydro-électrique**, hydro-electric pile, liquid battery.
— **sèche**, dry battery.
— **thermo-électrique**, thermo-electric battery, thermo-pile.
pilier d'assise, bed pile, foundation pile.
pilotis, set of piles.
pince, clamp.
— **à ressort**, spring-plier, tweezer.
pipette, pipette.
A small tube used to withdraw and transfer fluids or gases from one vessel to another.
piste de patinage, skating-floor.
pitch-pin, pitch-pine.
placer de champ, to set on edge.
plan, plan, draught, drawing.
— **de décharge**, discharge plane.
— **d'épreuve**, proof-plane, carrier.
— **horizontal**, horizontal plane.
plan incliné, inclined plane.
planche, plate.
plancher (plafond de planches), boarded ceiling.
— **(plateforme de planches)**, boarded floor, flooring, planking.
plaque, plate of metal, sheet, metal-sheet.
plaquette, small plate.
à plat, flat laid.
plateau, plate, disk, board, mould.
platine, platinum.
de plomb, leaden.
plombaginer, to coat with graphite powder (in making electrotypes).
podomètre, pedometer.
poêle à frire, frying-stove.
point d'application, point of application, working-point of a power.
— **d'appui**, point of support.
— **d'arrêt**, stop.
— **de départ**, starting point.
— **de suspension**, point of suspension.
— **de sustentation**, point of support.
poire de caoutchouc, bottle of India-rubber.
poitrail, girder, main-beam.
polarisation, polarization.
The state, or the act producing the state of having, as a ray, different properties on its different sides, so that opposite sides are alike, but the maximum difference is between two sides at right angles to each other.
(se) polariser, to be polarized.
polyphasé, multiphase.
pompe d'alimentation, feed-pump.

pompe centrifuge, centrifugal pump.
— **de compression,** condensing-pump.
pont suspendu, suspensión-bridge.
porosité, porosity.
porphyre, porphyry.
port d'embarquement, port of departure.
portée, length, span.
porte-balai, broom-stick.
potasse, potash.
poudre de guerre, gun-powder.
poulie, pulley.
poutre, girder, beam.
— **cloisonnée,** chambered beam.
— **mouflée,** tackle.
poutrelle, joist, little beam.
précipitation, precipitation.

In chemistry, the process by which any substance is made to separate from another or others in solution, and fall to the bottom.

précipité, precipitate.

Any substance which, having been dissolved in a fluid, falls to the bottom of the vessel on the addition of some other substance capable of producing decomposition of the compound.

précipiter, to precipitate.
pression atmosphérique, atmospheric pressure.
principe, element.
procédé, proceeding, method, process.
profil, diagram, section, profile.
propulseur, propeller, propelling apparatus.
protoxyde d'azote, nitrous oxide.
— **de carbone,** carbonic oxide.
puissance, moving force, motive force, power.
— **effective,** effective power.
— **utile maxima,** maximum useful power.
pulvérulent, pulverulent.
pylône, tower.

R

Radiateur, radiator.
raffiner, to refine.
— **le cuivre,** to refine, to anneal.
rail croisé, cross-rail.
— **jointif,** jointed rail.
rainure, crack, interstice, groove.
rampes (d'accès), approaches.
rang, rack (in a composing-room).
rangée, bed, layer.
rayonner (en tous sens), to run, to branch out.
réactif, test, reagent.

A substance used to effect chemical change in another substance for the purpose of identifying its component parts or of ascertaining its percentage composition.

réaction, reaction.

The mutual or reciprocal action of chemical agents upon each other.

réagir, react.

To act mutually or reciprocally upon each other, as two or more chemical agents.

rechange, duplicate, spare piece.
réchaud, warmer.
récipient, recipient, receiver, condenser.
recouper (les pavés), to trim.
réduire, to reduce.
refouler, to drive into.
réfractaire, fire-proof, refractory.
réfrigérant, cooling-tub, condensing-tub.

réfringence, refringency.
The power of a substance to break the natural course of a ray.

règle du parallélogramme, parallelogram law.

réglette, rule, spacer.

— **d'imprimerie,** composing-rule.

régulateur, regulator.

reins d'un arc, spandrel.

rendement, efficiency, product.

réseau, net-work.

résistance, resistance, resisting-force.
The designation resistance is also applied to coils of wire which are introduced into electric circuits on account of the resistance which they offer to the passage of the current.

— **mécanique,** mechanical resistance.

ressort à boudin, spiral-spring.

résultante, resultant, resulting-force.

réversibilité, reversibility.

revêtir, to line with.

rhéostat, rheostat, resistance-box.
A box containing one or more resistance-coils.

rivure, riveting, riveted joint, rivet-joint, clinched end of a rivet.

robinet, cock, tap.

— **d'arrêt,** stop-cock.

— **d'entrée,** admission-cock, induction-cock.

— **de sortie,** discharge-cock, eduction-cock.

roder avec de l'émeri, to rub or polish with emery.

rondelle en papier, paper-disk.

— **(de zinc,** etc.), disk.

rôtissoire, oven.

roue dentée, toothed or cog-wheel.

rouge, chaleur rouge, red heat.

— **blanc,** white heat.
Red heat, white heat are states of metals at high temperatures in which they radiate a reddish or (when heated still higher) a much whiter light.

rougir, faire rougir, to give heat to, to heat.

S

Sable mouvant (boulant), quicksand.

salin, saltish, saline.

sapin du Nord, Northern fir-tree.

saturer, to saturate.
In chemistry, to impregnate or unite with till no more can be received.

scheidage, bucking.
To break into small pieces for jigging or separating the heavier ore from the lighter.

scierie, saw-mill, saw-machine.

sec, sèche, brittle (of metals).

section, section, profile.

sel de cuisine, common salt, sodium-chloride.

sel double, double salt.
A salt containing two different acid or basic radicals.

— **métallique,** metallic salt.
A salt which has a metal or metallic oxide for its base.

sellette, saddle.

semelle, flange (bridge).

— half-armature (electro-magnet).

serpentin, coil, coiled pipe.

sesquioxide, sesquioxide.
A compound of oxygen and another element in the proportion of three atoms of oxygen to two of the other.

signal à distance, long distance signal.

silicate, silicate.
A salt of silicic acid.
silicium, silicium, flint.
simili-diamant, imitation-diamond.
simple (machine), single.
siphon capillaire, capillary siphon.
sole, bottom.
(se) **solidifier**, to congeal, to set or become set.
solution, solution.
— **concentrée**, concentrated solution.
— **de continuité**, interval.
— **diluée**, dilute solution.
— **saturée**, saturated solution.
sonnerie, bell.
— **électrique**, electric bell, annunciator.
soude, soda, protoxide of sodium.
— soda (of commerce), carbonate of soda.
souder, to solder.
soudure, solder, soldering.
souffleur, blower.
soulever par, to press upward by.
soupape, valve.
sous-jacent, underlying.
sous-marin, submarine.
sous-sol, subsoil, underground.
spirale, spiral, helix.
spire, spire, spiral.
— **de fil**, wire-spiral, helix of wire.
stérilisation, sterilization.
The process of freeing from living germs.
strie, stria, stripe, streak.
strontiane, strontia.
sulfate, sulphate.
A salt of sulphuric acid.
— **de cuivre**, cupric sulphate.
— **de zinc**, zinc sulphate.
sulfure de carbone, bisulphide of carbon, carbon bisulphide.
A bisulphide is a compound of sulphur with another element, forming a sulphide which contains two atoms of sulphur to one atom of the other member of the compound.
sulfure de fer, sulphuret of iron, sulphide of iron.
support, stand, rack, support.
surface conique, conical surface.
— **terminale**, limiting surface.
sustentation, support.
système duplex, duplex system.
— **en dérivation**, parallel or multiple arc system.

T

Tablier (d'un pont), flooring of the roadway.
Tantale, Tantalum.
tarification, net evaluation.
télégraphie, telegraphy.
téléphonie, telephony.
Tellure, Tellurium.
tension, tension, strain.
— **superficielle**, surface tension.
tenu, tenuous, thin, fine.
térébenthine, turpentine.
ternaire, ternary.
Consisting of three; proceeding by threes.
de terre, earthenware.
terre glaise, loam, common clay.
— **réfractaire**, fire-proof clay, refractory clay.

têt, test, cupel.
thermique, thermic, thermal.
Of or relating to heat.
thermo-électrique, thermo-electric.
tige, rod, pole.
— **centrale**, pin.
— **de piston**, piston-rod.
tirage des mines, firing.
tirant (d'un navire), draught.
tiroir, slide-valve, slide.
toile métallique, metallic sheet.
tôle d'aluminium, aluminium-plate.
— **de fer**, sheet-iron.
en tôle, made of sheet-iron, of boiler-plate.
tour, revolution.
tour à bois, wood-turning lathe.
tour-support, supporting-tower.
tournesol, litmus.
traction, traction, tractive power, pull.
transformateur, transformer.
— **à courant continu**, continuous current transformer.
transmetteur, transmitter.
transmission intermédiaire, intermediate transmission.
transport, transmission, transfer.
transvaser, transfer.
travail, work, strain.
— **mécanique**, work done, performed, mechanical effect, power.
travée, truss, track, span.
traverse, bar.
treille, lattice, grating, grate.
treuil, windlass.
triage, sorting.
trier, to sort.
tringle, tringle, rod, link, strap, bar.
trou de loup, pit.
tube, tube, pipe.
— **capillaire**, capillary tube.
A tube with so fine a bore that the rise or fall of a liquid in it by capillary attraction is perceptible to the eye.
— **de rechange**, reserve-pipe.
— **en U**, U-(shaped) tube.
tungstène, tungsten.
turbine atmosphérique, atmospheric turbine.
— **à vent**, windmill.
tuyau, pipe, tube.
— **de congélation**, freezing-tube.
— **de décharge**, discharge-pipe.
typographie, printing.
typographique, typographic.

U

Usine, works, factory, plant.
usine centrale électrique, central electric station.
usine à gaz, gas-works.
utile, effective, useful, available.

V

Va-et-vient, alternate motion.
vanne, lock-gate, flood-gate.
vapeur à basse pression, low-pressure steam.
vapeur à haute pression, high-pressure steam.
— **d'eau**, aqueous vapor.
— **vive**, live steam.

vaporisation, evaporation.
vase de terre réfractaire, fire-clay vessel.
véhicule routier, road vehicle.
vélocipédie, bicycling, cycling, wheeling.
vent de travers, wind a-beam.
au vent, on the weather-side, to windward.
sous le vent, a-lee, leeward.
ventilateur, ventilator, fan.
ventilateur-souffleur, ventilating-blower, fan-blower.
vide, vacuum.
faire le vide, to produce a vacuum.
vide (du pavé), hollow space.
vis sans fin, endless screw.
visitée (de machine), visit of inspection.
visiter (la machine), to examine.
vitesse, speed, velocity.
voie carrossable, thoroughfare, road open for traffic, carriage-road.
— **charretière,** carriage-road, cart-way.
— **ferrée,** railroad.
— **respiratoire,** respiratory tract.
voiture à moteur à pétrole, petroleum carriage.
volatiliser, evaporate.
volt, volt.

Unit of electro-motive force or pressure of currents.

voltage, voltage.
voltaïque, voltaic.

W

Watt, watt.

The unit of energy. The number of volts multiplied by the number of amperes gives the energy in watts. 746 watts represent one horse power. 1 kilowatt = 1000 watts.

448.6 H54

a39001 006830593b